

А. Л. Зиновьев, Л. И. Филиппов

Введение в специальность

РАДИО

ИНЖЕНЕРА



**А. Л. Зиновьев
Л. И. Филиппов**

Введение в специальность РАДИО- ИНЖЕНЕРА

**Допущено Министерством высшего
и среднего специального
образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов
радиотехнических специальностей
вузов**



**МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
1983**

ББК 32.84
З-63
УДК 621.396

Рецензенты:

Кафедра антенн и радиопередающих устройств Таганрогского радиотехнического института им. В. Д. Калмыкова (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. Б. М. Петров)

Заслуженный машиностроитель РСФСР, канд. техн. наук
К. В. Епанешников

Зиновьев А. Л., Филиппов Л. И.

З-63 Введение в специальность радиоинженера: Учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов.— М.: Высш. шк., 1983.— 176 с., ил.

35 к.

В книге излагаются история развития радиотехники, физические принципы и фундаментальные соотношения, используемые в радиоэлектронике, сведения о компонентной базе современных радиоаппаратов; рассматриваются этапы разработки изделия и внедрения его в производство; рассказывается о том, что должен знать, уметь, о чем должен иметь представление молодой радиоинженер.

Может быть полезна учащимся старших классов средней школы, интересующимся радиотехникой.

З $\frac{2402010000-231}{001(01)-83}$ 118—83

ББК 32.84
6Ф2

Андрей Леонидович Зиновьев, Леонид Иванович Филиппов

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ РАДИОИНЖЕНЕРА

Зав. редакцией *Л. А. Романова*. Редактор *С. В. Никитина*. Художественный редактор *Т. М. Скворцова*. Технический редактор *Р. С. Родичева*.
Корректор *В. В. Кожуткина*

ИБ № 3569

Изд. № ЭР-317. Сдано в набор 13.10.82. Подп. в печать 12.04.83. Т-07768. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 9,24 усл. печ. л. Усл. кр.-отт. 9,55. 10,94 уч.-изд. л. Тираж. 80 000 экз. Зак. № 618. Цена 35 коп.

Издательство «Высшая школа». Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский просп. 15.

© Издательство «Высшая школа», 1983

О вы, которых ожидает
Отечество от недр своих
И видеть таковых желает,
Каких зовет от стран чужих,
О ваши дни благословенны!
Дерзайте ныне ободрены
Раченьем вашим показать,
Что может собственных Платонов
И быстрых разумом Невтонов
Российская земля рождать.

М. В. Ломоносов, 1747

ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ!

Выбор специальности — это почти всегда начало самостоятельного жизненного пути. Если вы уже решили, кем стать, если ваш выбор пал на такую замечательную область, которую именуют радиотехникой и радиоэлектроникой, и поступили в соответствующее учебное заведение, то вам предстоит постигнуть многие таинства этой сложной и увлекательной науки.

На глазах одного-двух поколений от первых опытов радиотелеграфирования развитие науки и техники привело к единой автоматизированной системе связи, к телевидению, радионавигации и локации, к радиотелеуправлению, космической связи и радиоастрономии. Но не только к этому. В настоящее время ни одна экспериментальная наука не обходится без методов исследования, основанных на использовании специальных, часто весьма сложных и уникальных радиоэлектронных установок. Достаточно указать на такие, как ускорители элементарных частиц, электронные микроскопы, стандарты частоты и времени, сверхчувствительные индикаторы электромагнитного излучения.

Сила радиоэлектроники в том, что она может создавать и регистрировать колебания с частотами от долей до триллионов герц и мощностями от гигаватт до миллиардных долей пиковатт.

Громоздкие и неэкономичные элементы устройств сейчас заменены интегральными микросхемами, благодаря чему целая радиосистема может уместиться в крохотном объеме. От понимания и описания отдельных явлений ученые пришли к построению общей статистической теории радиотехнических систем и устройств, к обобщенным методам их расчета и проектирования. Радиоэлектроника постоянно опирается на новейшие достижения физики. Успехи математических наук и вычислительной техники обеспечивают аппарат расчета и прогнозирования характеристик сложных устройств и систем.

Приступающим к изучению основ радиоэлектроники может показаться, что данная область знаний уже доведена до совершенства. На самом деле это не так! Эта наука, как любая другая, неисчерпаема. Возможности, которые открываются в перспективе перед радиоинженерами,— безграничны. Но для того чтобы эти возможности превратились в действительность, необходимо настойчиво учиться и работать.

Желаю успехов на выбранном вами пути!

В. КОТЕЛЬНИКОВ,

академик, вице-президент АН СССР,
дважды Герой Социалистического Труда,
лауреат Ленинской и Государственных премий

ПРЕДИСЛОВИЕ

В науке нет широкой столбовой дороги, и только тот может достигнуть ее сияющих вершин, кто, не страшась усталости, карабкается по ее каменистым тропам.

К. Маркс

Приступая к изучению новой области знаний, человек испытывает естественное желание сначала ознакомиться с нею в общих чертах. Такое предварительное знакомство с предметом позволяет почувствовать и понять взаимосвязь ее отдельных частей и в дальнейшем лучше организовать процесс углубленного изучения. Иными словами, прежде чем подойти ближе к объекту нашего интереса, весьма полезно и, более того, необходимо обозреть его издали и в целом.

Данная книга, являясь введением в специальность радиотехника в широком смысле этого слова, задумана как ознакомительный курс для двух категорий молодежи. С одной стороны, знакомство с ней должно быть полезным для студентов, уже избравших радиотехнику своей специальностью. С другой стороны, она может служить пособием для молодежи, еще не выбравшей специальность, но стремящейся мотивировать свой выбор. Имея в виду и это, второе, назначение книги, авторы придали соответствующую направленность изложению некоторых из ее разделов.

Одна из трудностей, с которыми столкнулись авторы, — определение «границ» радиотехники. Эта трудность, по-видимому, объективна, ибо нет такой области человеческой деятельности, где радиотехника не применялась бы или не могла бы быть применена.

Еще несколько десятилетий назад радиотехника хорошо «вписывалась» только в связь без проводов. Сегодня существуют и кабельные системы (связные, телевизионные). Во многих системах, например при разговоре по телефону или при отправлении телеграммы, информация распространяется не только по кабелю, но может с помощью радиоволн выйти в открытое пространство или перенестись по цепочке радиорелейных станций. Однако бытовое, повседневное применение — лишь малая часть использования обширных возможностей радиотехники. Прогресс общества без радиотехники (радиоэлектроники) просто невозможен. Радиоэлектронику используют в различных на-

учных, в том числе и космических исследованиях, в авиации, на флоте, в медицине, в метеорологии, геологии, промышленности, сельском хозяйстве.

Радиоинженер может быть специалистом как по проектированию и производству радиоэлектронной аппаратуры различного назначения, так и по ее эксплуатации. Это назначение аппаратуры может быть разным не только по областям применения радиоэлектроники, но и по видам человеческой деятельности

Знания, накопленные в каждой отдельной области радиотехнической науки, столь велики, что сегодня нельзя быть просто специалистом по радиотехнике. И все же понимание ее основных принципов является условием успешного творчества в любом направлении радиоинженерной деятельности. Для того чтобы усвоить даже основные принципы радиотехники, необходима прежде всего соответствующая физико-математическая и естественно-философская база.

Кроме знания теории радиоинженер должен обладать определенными практическими навыками. Поэтому в книге рассказывается о характере будущей работы радиоинженера.

Хотя достижениям радиотехники, естественно, предшествовали определенные исторические этапы развития, лучше уяснить содержание этих этапов можно, лишь понимая существо радиотехнических процессов. Поэтому курс начинается не с исторического обзора, а с изложения физических основ радиотехники, после которых следуют исторические аспекты.

Лишь представляя характер своей будущей деятельности, можно осознать, какие знания необходимо приобрести. Поэтому главы «Производство радиоаппаратуры как процесс» и «Радиотехническая отрасль народного хозяйства» в книге предворяют главу «На пути к инженерному званию».

Настоящий курс не может дать глубоких знаний всех разделов радиотехники. Однако авторы не сочли возможным ограничиться лишь общими представлениями о процессах без пояснения их физического смысла, а иногда и математического описания. Главы 1, 2 и 3 написаны проф., д-ром техн. наук Л. И. Филипповым, главы 4, 5, 6 — проф., канд. техн. наук А. Л. Зиновьевым.

Авторы благодарят рецензентов К. В. Епанешникова Б. М. Петрова, В. А. Обухова, В. В. Чечетку, а также Л. С. Гуткина, Ю. П. Борисова и В. М. Чиликина, прочитавших книгу в рукописи, за советы и замечания, которые способствовали ее улучшению.

Авторы

Глава 1

РАДИОТЕХНИКА СЕГОДНЯ

*Невозможное сегодня
станет возможным завтра.*

К. Э. Циолковский

§ 1.1. С ЧЕГО НАЧИНАЕТСЯ И ЧТО ТАКОЕ РАДИОТЕХНИКА

При ответе на этот вопрос можно было бы сказать, что радиотехника, как и электротехника, начинается с электрона. Действительно, множество движущихся электронов образуют электрический ток, а все процессы в радиотехнике связаны с токами и напряжениями или созданными ими магнитным и электрическим полями.

Однако такой ответ был бы слишком общим. Из него не видно, чем радиотехника отличается от электротехники.

Еще несколько десятилетий назад можно было бы сказать, что радиотехника отличается от электротехники использованием более высокочастотных колебаний. Но сегодня это не совсем верно, так как в радиотехнике используют колебания вплоть до единиц герц.

Возможно радиотехника — это техника передачи на расстояния сообщений: речи, музыки, изображений, телеграмм? Этот ответ более точен, но неполон, потому что радиотехника используется также для передачи и преобразования энергии, в технологических процессах обработки металлов и других материалов (закалка, сушка), в медицине, биологии, химии и в ряде других областей, где информацию воспринимать некому и более существенна энергетическая сторона явлений.

Иногда говорят, что радиотехника это «слаботочная» техника, когда токи, протекающие в приборах, измеряются тысячными долями ампера. Однако и это определение неверно для сегодняшних радиотехнических устройств, так как, например, токи в антеннах и оконечных (выходных) каскадах радиопередатчиков могут составлять сотни ампер, а в импульсных (кратковременных) режимах достигать и значительно больших значений. Кроме того, начаты исследования о передаче солнечной энергии от космических фотоэлементов на Землю с помощью радиоволн, сконцентрированных в узкие пучки. Здесь радиотехнические приборы не уступают по мощности устройствам энергетики.

Трудно определить, где начинается радиотехника, точнее, где она выделяется из электротехники! Еще более трудно отделить ее от электроники — области, которая повседневно и повсеместно переплетается с радиотехникой. Часто их даже сознательно объединяют. Так, один из ведущих институтов Академии наук СССР называют Институтом радиотехники и электроники; один из вузов Москвы — Институтом радиотехники, электроники и автоматики; широко известный научный журнал — «Радиотехника и электроника». Во многих книгах, журнальных статьях и устных выступлениях радиотехника и электроника сливаются в одно слово — радиоэлектроника.

И все-таки у радиотехники в отличие от электротехники, электроники, автоматики и смежных «электронных» дисциплин имеется достаточно ярко выраженный особый признак.

Большинство радиотехнических систем основано на непосредственном использовании электромагнитного поля или, согласно другой терминологии, радиоволн для передачи информации (связь, вещание, телевидение) или ее извлечения (радиолокация, радиотелеизмерения и др.). Собственно слово «радио» означает «излучение».

Электромагнитное поле излучения (ЭПИ) было открыто сравнительно недавно, около 100 лет назад. За истекшее столетие это открытие привело к существенным изменениям в жизни общества.

§ 1.2. КАК ВОЗНИКАЕТ ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Процесс возникновения и распространения в пространстве электромагнитного поля излучения относится к наиболее сложным явлениям природы.

Однако представление о феноменологической теории поля (т. е. теории, основанной на внешних наблюдаемых явлениях) можно получить, хотя и несколько упрощенно, на основании известных из средней школы понятий электрического и магнитного полей и явлений индукции.

Вспомним, что при взаимном движении со скоростью v проводника длиной l и магнитного поля напряженностью H в проводнике возникает электродвижущая сила индукции (э. д. с. индукции)

$$\mathcal{E} = \mu Hlv, \quad (1.1)$$

где μ — магнитная проницаемость среды. Направление э. д. с. и вызываемого ею тока определяются по известному правилу правой руки.

Появившаяся э. д. с. создает в проводнике электрическое поле напряженностью

$$E = \mathcal{E}/l = \mu v H. \quad (1.2)$$

Действительно, перемещая некоторый заряд q , э. д. с. \mathcal{E} совершает работу

$$A = q\mathcal{E} = q\mu Hlv.$$

Так как работа в то же время есть произведение силы (действующей со стороны электрического поля на заряд) на путь, а сила, действующая на единичный заряд, есть напряженность электрического поля E , получаем соотношение (1.2). Его можно истолковать так, что *движение магнитного поля в направлении, нормальном его силовым линиям, вызывает появление электрического поля, нормального направлению поля H и движению.* Эта ситуация иллюстрируется рис. 1.1, где величины H , E и v изображены соответствующими им векторами.

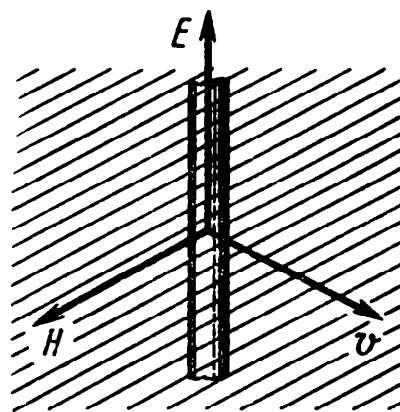


Рис. 1.1. К пояснению создания электрического поля движущимся магнитным полем

Мнемоническое правило таково: при вращении вектора E к вектору H против часовой стрелки вектор скорости v направлен по движению правоходового винта.

Согласно другому основному закону электротехники движущиеся заряды, т. е. по существу электрический ток, вызывают появление магнитного поля. Так, если прямолинейный проводник с зарядом q_1 на единицу длины будет двигаться со скоростью v (что эквивалентно протеканию тока $i = q_1 v$), то вокруг проводника создается магнитное поле (с концентрическими силовыми линиями) напряженностью

$$H = q_1 v / (2\pi r), \quad (1.3)$$

где r — расстояние до рассматриваемой точки от оси проводника. Направление вектора H определяется по правилу винта. Но одновременно с зарядом q связано электрическое поле напряженностью

$$E = q_1 / (2\pi \epsilon r), \quad (1.4)$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость среды. Вектор E направлен нормально оси проводника.

Из (1.3) и (1.4) получаем, что

$$H = \epsilon v E. \quad (1.5)$$

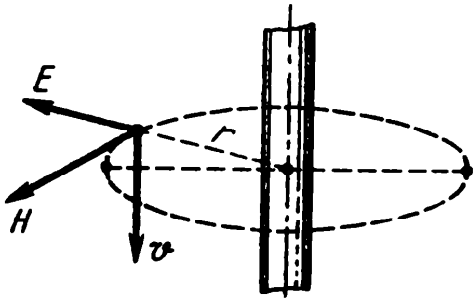


Рис. 1.2. К пояснению создания магнитного поля движущимся электрическим полем

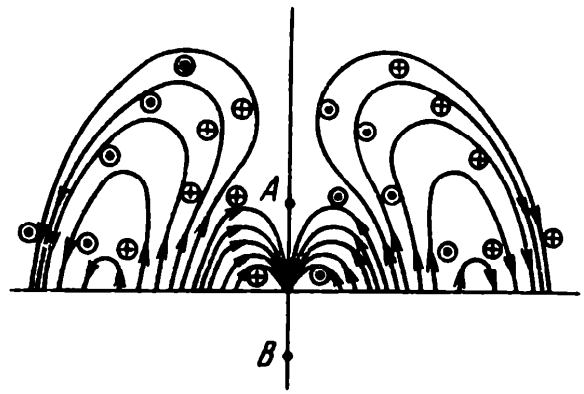


Рис. 1.3. Мгновенная картина силовых линий поля вокруг диполя (⊕ — поле от читателя; ⊙ — поле к читателю)

Это соотношение можно истолковать так, что *движение электрического поля в направлении, нормальном его силовым линиям, вызывает появление магнитного поля*, вектор H которого нормален вектору E и вектору скорости v . Эта ситуация показана на рис. 1.2.

Обратим внимание на то, что векторы E , H и v одинаково взаиморасположены в пространстве (см. рис. 1.1 и 1.2).

Не могут ли переменные электрическое и магнитное поля, будучи созданными в некоторой точке пространства токами в проводниках, далее существовать и распространяться (двигаться) в пространстве, взаимно поддерживая друг друга? Для этого, очевидно, необходимо, чтобы напряженность поля E (или H) в уравнении (1.1) была равна напряженности поля E (или H) в уравнении (1.5). Тогда

$$E = \mu H v = \mu \epsilon v E v \quad \text{или} \quad v = 1 / \sqrt{\mu \epsilon}.$$

Такая совокупность взаимосвязанных движущихся электрического и магнитного полей называется *электромагнитным полем излучения (ЭПИ)*. Это означает, что поле излучения, созданное переменным током в некоторой области пространства, может распространяться лишь двигаясь со скоростью, которая совпадает со скоростью света в рассматриваемой среде.

Впервые электромагнитное поле излучения было обнаружено вокруг отрезка проводника с изменяющимся в нем током — так называемого *диполя*. Постоянный ток не может вызвать ЭПИ, так как при этом не образуется изменяющегося магнитного поля, эквивалентного его движению.

Общая картина силовых линий (в сечении плоскостью рисунка) вокруг диполя AB в зафиксированный момент времени показана на рис. 1.3. Силовые линии E показаны сплошными

линиями. Силовые линии H лежат в плоскостях, нормальных направлению диполя. Их пересечения с плоскостью чертежа отмечены кружками с точками (если вектор направлен на читателя) и крестиками (если вектор направлен от читателя). Рисунок изображен в предположении, что ток в диполе изменяется периодически по синусоидальному закону. При этом в пространстве образуется движущаяся картина силовых линий с периодическим повторением во времени значения напряженности поля в зафиксированной точке пространства. На определенном расстоянии λ , называемом длиной волны, фазы колебаний поля будут одинаковы. Очевидно,

$$\lambda = c/f, \quad (1.6)$$

где c — скорость света, а f — частота колебаний тока в диполе.

Распространяясь, поле излучения уносит энергию, восполняемую источником тока, питающего диполь. Соответствующая ей мощность P (энергия за секунду) называется мощностью излучения. Если бы мощность P излучалась равномерно во всех направлениях, то плотность потока мощности (мощность, проходящая через единицу поверхности сферы) была бы равна

$$\Pi = P/(4\pi r^2), \quad (1.7)$$

где r — радиус сферы. Анализ показывает, что плотность потока мощности электромагнитного излучения Π , называемая вектором Умова — Пойнтинга, пропорциональна квадрату напряженности поля:

$$\Pi = E^2/(120\pi). \quad (1.8)$$

Из (1.7) и (1.8) получаем, что

$$E = \sqrt{30P}/r. \quad (1.9)$$

Если P выразить в ваттах, а r — в метрах, то E будет выражено в вольтах на метр (В/м).

Важнейшей особенностью поля излучения является его убывание обратно пропорционально *лишь первой степени расстояния* от источника излучения (вспомните, что электростатические поля убывают пропорционально второй степени расстояния). Именно эта зависимость делает передачу сообщений на большие расстояния с помощью поля излучения практически выполняемой при реально достижимых мощностях излучения P . Дело в том, что поле E не может быть обнаружено, если оно меньше некоторого значения, определяемого уровнем неизбежных электрических помех (об этом будет рассказано далее).

Заметим, что предположение о равномерном излучении мощности P во всех направлениях весьма условно. Теория и экспе-

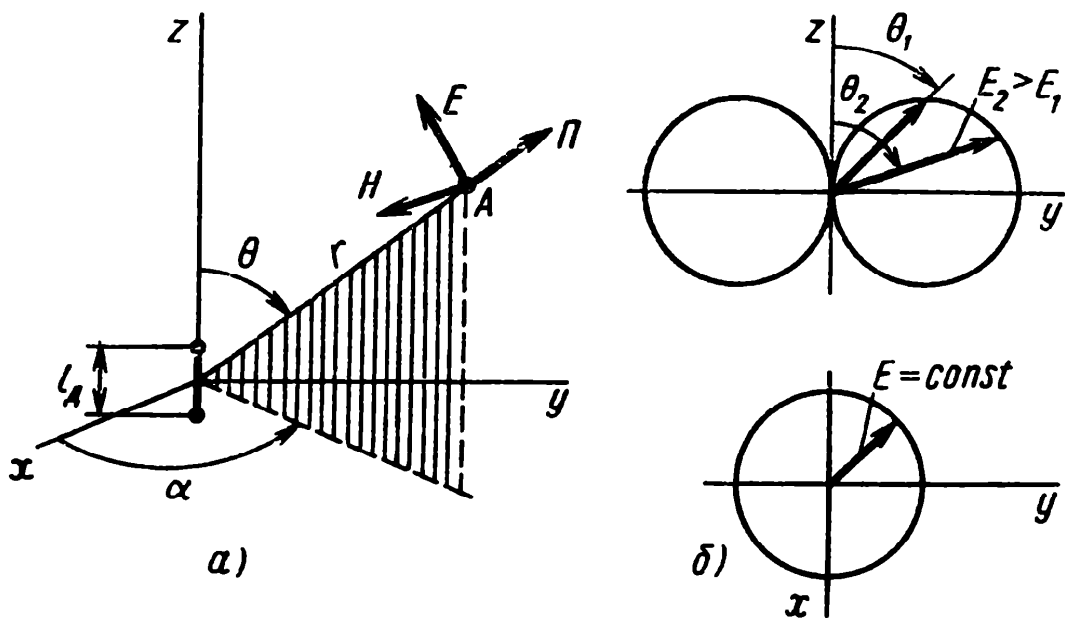


Рис. 1.4. Распределение поля вокруг излучающего диполя

римент показывают, что диполь, длина которого l_d , в направлении радиуса-вектора r создает напряженность поля (эффективное значение)

$$E = \frac{I}{2\epsilon cr} \frac{l_d}{\lambda} \sin \theta; \quad (1.10)$$

$$H = \frac{I}{2r} \frac{l_d}{\lambda} \sin \theta,$$

где I — эффективное значение тока в диполе.

Векторы E и H (рис. 1.4, а) лежат в плоскости, нормальной радиусу-вектору r , причем вектор E лежит в плоскости, проходящей через диполь и вектор r . Положение точки наблюдения A определяется углами θ , α и расстоянием r^* .

Из выражения (1.10) ясно, что излучение обладает *направленностью в вертикальной плоскости* (зависит от θ) и одинаково во всех направлениях в горизонтальной плоскости (не зависит от α). Это обстоятельство учитывают, вводя понятие диаграмм направленности в вертикальной и в горизонтальной плоскостях. Из рис. 1.4, б видно, что в направлении оси z (вдоль диполя) излучение отсутствует. Оно достигает максимума в направлении, нормальном диполю, когда $\theta = \pi/2$ (или в экваториальной плоскости). При заданном θ излучение во всех направлениях, характеризуемых углом α , одинаково.

* В дальнейшем стало известно, что приведенные рассуждения верны, если расстояние $r \gg \lambda$, т. е. для так называемой дальней зоны.

Такое излучение называют **всенаправленным** в экваториальной плоскости.

Понимание явлений, происходящих в элементарном диполе, позволяет рассмотреть устройство реальных антенн.

§ 1.3 ПРОСТЫЕ АНТЕННЫ

Из выражений (1.9) и (1.10) для электромагнитного поля излучения элементарного диполя можно найти излученную в пространство мощность

$$P = 80\pi^2 I^2 (l_d/\lambda)^2. \quad (1.11)$$

Для инженерных расчетов удобно представить дело так, будто бы эта мощность поглощается в некотором резисторе R_Σ , сопротивление которого называют **сопротивлением излучения** диполя (антенны). Так как мощность $P = I^2 R_\Sigma$, то из (1.11) нетрудно найти, что

$$R_\Sigma = P/I^2 = 80\pi^2 (l_d/\lambda)^2. \quad (1.12)$$

Чем больше сопротивление излучения антенны, тем при том же токе I она излучает в пространство большую мощность и тем больше будет напряженность поля в точке приема.

Из (1.10) и (1.12) ясно, что выгодно увеличивать длину диполя l_d , точнее, отношение l_d/λ . Однако при этом начинают сказываться два явления, существенно изменяющие свойства диполя, который теперь будем называть **антенной** — специальным устройством для создания поля излучения.

При заданном напряжении источника высокочастотных колебаний ток в различных элементах антенны оказывается неодинаковым по значению и фазе колебания (рис. 1.5, а). На рисунке расстояние l отсчитываем от «центра» источника энергии (I), который считаем бесконечно малым по размерам. Значения тока в рассматриваемом сечении отложены по горизонтальной оси l . Видно, что на концах антенны существует минимум тока. Причину этого явления можно понять, если рассматривать антенну как результат «развертывания» двух проводников (2, 3), этапы которого показаны на рис. 1.5, б.

Совокупность двух проводников называется **линией** или **системой** с **распределенными параметрами**, так как каждый элемент Δl линии обладает емкостью ΔC , индуктивностью ΔL , сопротивлением ΔR и проводимостью ΔG (рис. 1.5, в).

Понятно, что значения токов и напряжений в начале и конце каждого элемента Δl различны из-за утечки тока в емкость и проводимость и падения напряжений на индуктивной

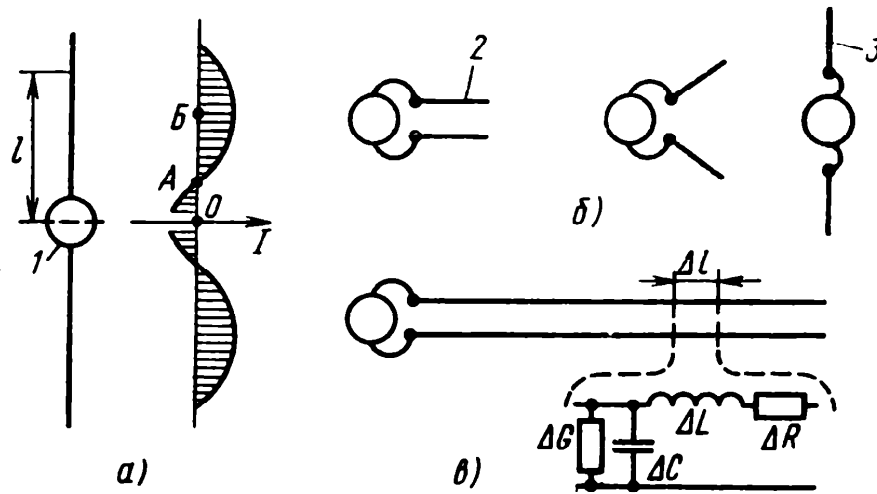


Рис. 1.5. Процесс образования антенны и распределение тока по длине антенны

катушке и резисторе. В соответствии с законами Кирхгофа и Ома приращения напряжения и тока на элементе

$$\Delta u = i\Delta R + \Delta L \frac{di}{dt};$$

$$\Delta i = u\Delta G + \frac{1}{\Delta C} \int idt,$$

где через u и i обозначены напряжение и ток в начале элемента. Чтобы определить напряжение и ток в любом элементе на расстоянии l от точки приложения источника, необходимо «просуммировать» явления, происходящие на каждом элементе, устремив длину элемента Δl к нулю, а число элементов к бесконечности. Такой процесс называется **интегрированием уравнений**. Он встречается при рассмотрении различных явлений и изучается в курсе высшей математики.

Результат интегрирования этих уравнений показывает, что от источника напряжения U по линии распространяется бегущая волна тока и напряжения, механическим аналогом которой является распространение волны колебаний вдоль гибкого шнура, один конец которого колеблется. В конце линии может происходить отражение электрической энергии, в результате чего создается обратная волна. Фазы колебаний обеих волн в каждой точке линии различны. Их сложение образует картину **стоячих волн**, т. е. картину колебаний, значения которых различны в каждой точке линии, точнее, повторяются через расстояние $l = \lambda/2$, если длина линии больше $\lambda/2$. Точки, в которых прямая и отраженная волны взаимно уничтожаются, называют **узлами** (точка A на рис. 1.5, a). В пучностях прямая и отраженная волны складываются (точка B).

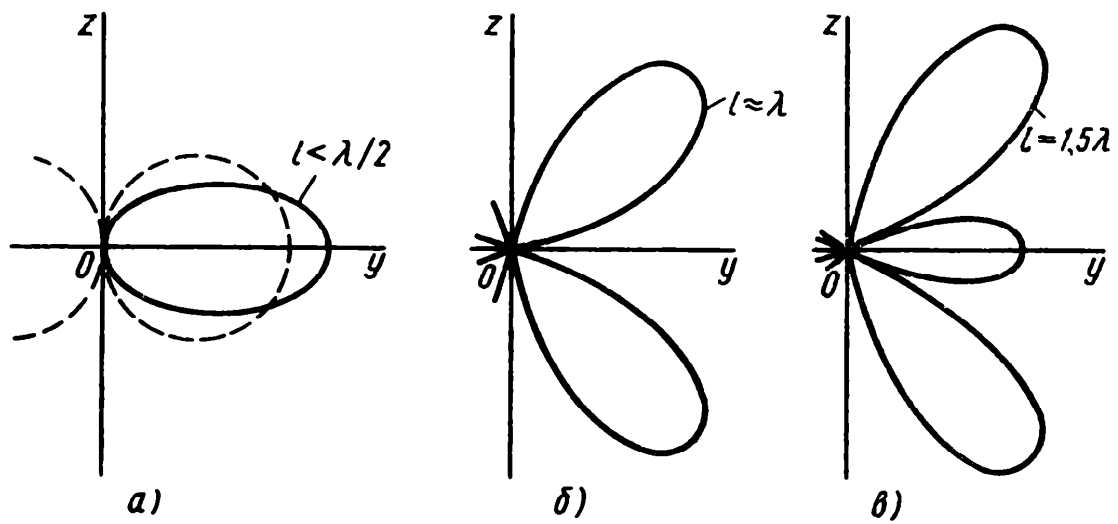


Рис. 1.6. Диаграммы направленности для антенн различной длины

Более детальное рассмотрение показывает, что вдоль линии образуется также непрерывно бегущая волна, которая уносит часть энергии излучения в пространство.

Вернемся теперь к явлениям в антенне. Ясно, что каждый малый элемент, состоящей из которых можно представить антенну, создает свое поле излучения в соответствии со значением и фазой тока в нем. Полная напряженность поля на любом расстоянии и в любом направлении равна сумме элементарных полей.

Подробное рассмотрение показывает, что суммарное поле E (или H) имеет существенно иное распределение в пространстве по сравнению с полем элементарного диполя. При этом диаграмма излучения, т. е. зависимость E от θ (или H от θ), существенно зависит от отношения l_a/λ (где l_a — длина антенны). Так, на рис. 1.6 показаны симметричные части диаграмм для нескольких антенн. Видно, что при $l_a \approx \lambda$, например, изменяется направление максимумов излучения в вертикальной плоскости, их оказывается два (рис. 1.6, б). При $l_a = 1,5\lambda$ диаграмма излучения состоит уже из трех «лепестков» и каждый со своим максимумом излучения (рис. 1.6, в).

Если же длина антенны l_a постепенно увеличивается от $l_a \ll \lambda$, то излучение концентрируется в направлении максимума излучения (рис. 1.6, а) (при $\theta = \pi/2$). Это свойство антенны описывают, вводя коэффициент направленности антенны D . При этом поле излучения в максимуме в соответствии с (1.9) запишем в В/м как

$$E = \sqrt{30PD}/r,$$

или в более удобных единицах измерения — мВ/м (если P — в кВт, а r — в км)

$$E = 173 \sqrt{PD}/r. \quad (1.13)$$

Для элементарного диполя значение D оказывается равным 1,5.

Из приведенного рассмотрения видно, что размеры эффективно излучающих антенн (создающих большие напряженности поля излучения при заданном токе) должны быть соизмеримы по длине с длиной волны $\lambda = c/f$. Так как очень длинные (точнее, высокие) антенны создавать технически сложно, то становится ясным, почему радиотехника — это в основном *техника высоких частот*. Низкочастотные колебания, например колебания в электросети, соответствуют очень длинным волнам (при $f = 50$ Гц $\lambda = 6000$ км). При реальной высоте антенны, например в 100 м, отношение $l_a/\lambda \approx 10^{-4}$. Обнаружить излучение такой антенны на расстоянии очень трудно.

§ 1.4. КАК АНТЕННА ВЗАИМОДЕЙСТВУЕТ С ОКРУЖЕНИЕМ

До сих пор были рассмотрены антенны в «пустом пространстве», изолированно от окружающих предметов. Ясно, что такая обстановка и то весьма приближенно может сложиться только в открытом космическом пространстве.

Реальные антенны находятся вблизи Земли и, более того, чаще всего на сравнительно небольшом от нее расстоянии. При этом на создание поля излучения в точке приема оказывают влияние три фундаментальных физических процесса: отражение электромагнитного поля от Земли, преломление его лучей в ионизированных слоях атмосферы и явление дифракции. Рассмотрим кратко их влияние на создание поля в точке приема.

Аналогично тому как световые волны отражаются от окружающих предметов (благодаря чему предметы становятся видимыми нами), радиоволны, излученные антенной, отражаются от Земли, если антенна находится на некотором от нее расстоянии. На рис. 1.7, *a* показаны лучи (направление распространения поля), идущие от антенны A , расположенной над земной поверхностью. Луч, падающий в точку O_1 (или O_2 , O_3), отражается от Земли по законам оптики (угол падения равен углу отражения). Поскольку Земля является не идеальным «зеркалом» и обладает определенными электрическими характеристиками (проводимостью σ и диэлектрической постоянной ϵ_r), то напряженности полей до отражения E_1 и после от-

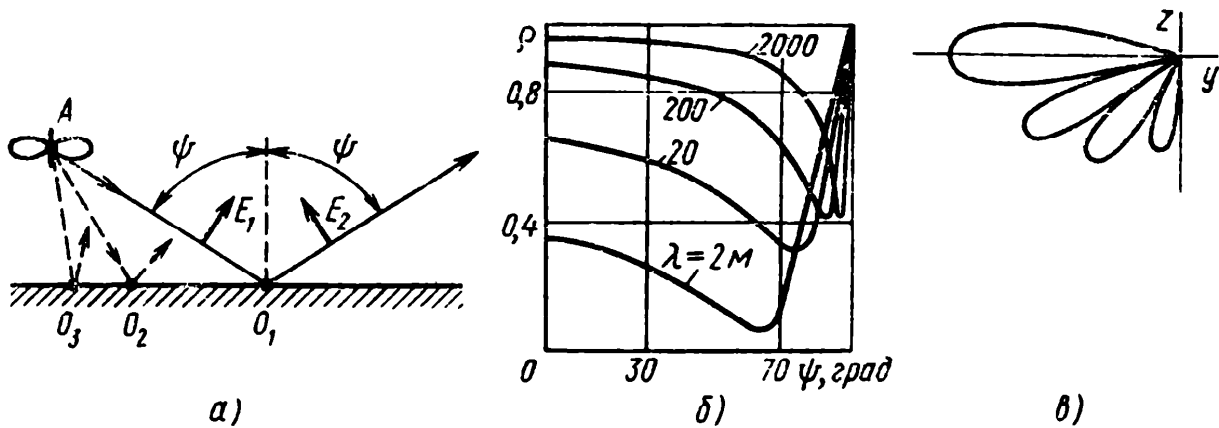


Рис. 1.7. К пояснению отражения радиоволн от земной поверхности

ражения E_2 будут различными и по значению, и по сдвигу фазы. Поэтому говорят, что Земля обладает определенным коэффициентом отражения ρ , характеризующим и ослабление поля при отражении, и изменение его фазы.

Коэффициент ρ зависит от угла падения ψ , длины волны λ , свойств Земли (ϵ_r , σ) и поляризации волны, т. е. направления вектора E по отношению к Земле (лежит ли он в горизонтальной или вертикальной плоскости). На рис. 1.7, б показана зависимость модуля коэффициента отражения $\rho = E_2/E_1$ от угла падения ψ для λ от 2 до 2000 м (кривые относятся к вертикальной поляризации при средних параметрах Земли). В результате прихода в точку приема волн, отраженных под разными углами (см. рис. 1.7 а), а также сложения их с полем, пришедшим по *направлению прямой видимости* (без отражения), значение напряженности поля в точке приема будет различно в зависимости от направления, из которого будет воспринимать поле приемная антенна. Диаграмма значений поля в разных направлениях в точке приема имеет сложную форму с «нулями» и «максимумами» (рис. 1.7, в).

Такая картина распределения принимаемого электромагнитного излучения создает определенные неудобства. Например, на движущемся самолете качество приема будет непрерывно меняться из-за изменения углов приема при движении.

Рассмотренный случай создания поля имеет место в зоне прямой видимости, когда между передающей и приемной антеннами нет препятствий распространению радиоволн. Иная картина складывается при распространении волн «за горизонт». Из-за известного явления дифракции (огибания препятствий) поле E в точке приема за горизонтом не будет равно нулю, хотя и резко ослабится (рис. 1.8). Это явление учитывается в формуле для поля излучения путем введения множителя ос-

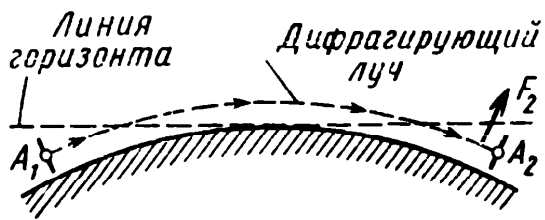


Рис. 1.8. К пояснению явления дифракции и появления поля за линией горизонта

лабления F :

$$E = \frac{\sqrt{PD}}{r} F, \quad (1.14)$$

где P выражено в кВт, а r — в км.

Множитель ослабления может быть как вычислен теоретически с использованием методов высшей математики, так и определен экспериментально. Он зависит от длины трассы, радиуса Земли или другой планеты, около которой изучается поле, длины волны и электрических свойств поверхности. В частности, чем короче волна, тем слабее явление дифракции и больше ослабление поля в точке приема. К примеру, декаметровые волны (короткие) практически не обнаруживаются уже на расстояниях в десятки километров, метровые и более короткие волны распространяются только в пределах прямой видимости.

Как же в таком случае осуществляется коротковолновая связь на большее расстояние, вплоть до связи между антиподами? Для понимания этого необходимо рассмотреть третье основное явление — преломление волн в ионосфере.

Ионизированные слои атмосферы создаются в основном ультрафиолетовым излучением Солнца. Сложная зависимость температуры атмосферы от высоты и изменение ее плотности с увеличением высоты приводят к тому, что ионизация, характеризуемая числом электронов N в единице объема, изменяется не монотонно, а образуется четыре явно выраженных ионизированных слоя. Они получили условные обозначения D , E , F_1 , F_2 . На рис. 1.9, а показан типичный график зависимости N от высоты h . Из него видно, что слой D , например, располагается на высоте приблизительно 60—80 км, слой E — на высоте 100—120 км, а слои F_1 и F_2 занимают области приблизительно от 200 до 450 км.

В результате чередования освещенности Солнцем (день, ночь), изменения интенсивности солнечного излучения и процессов рекомбинации электронов и ионов картина расположения и концентрации ионизированных слоев очень изменчива. Так, ночью слои D и E практически исчезают. Высота слоев также может значительно изменяться.

Наличие ионизированных слоев существенно изменяет картину поля от передающей антенны в точке приема. Как и световые волны, радиоволны претерпевают преломление, т. е. изменение направления распространения при переходе из одной среды

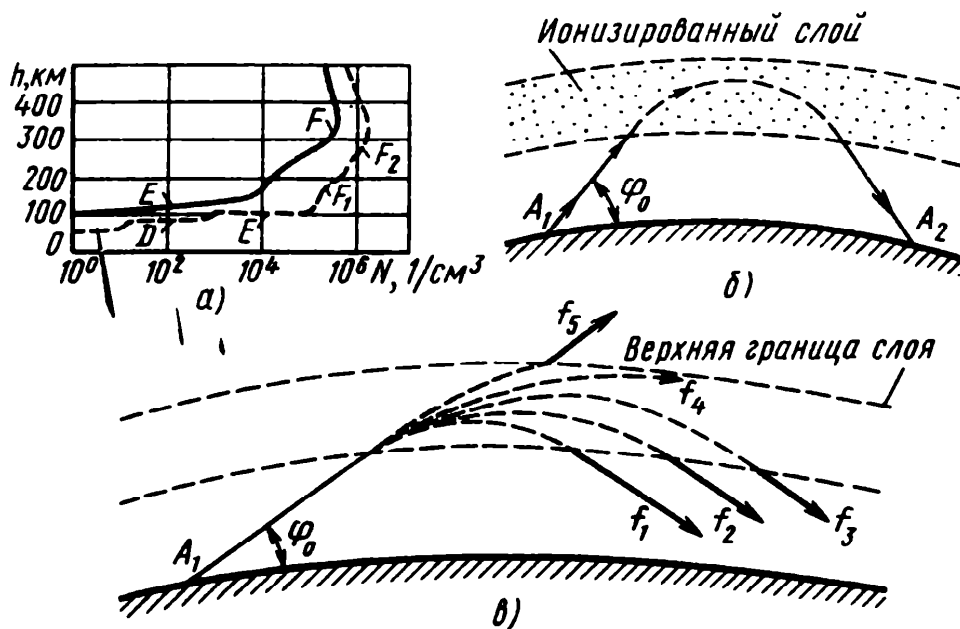


Рис. 1.9. Графики концентрации электронов в ионосфере и характер распространения в ней радиоволн: сплошная линия соответствует ночному времени суток; пунктирная — дневному

в другую. Из курса физики известно, что коэффициент преломления лучей зависит от диэлектрической проницаемости вещества. Ионизированный же слой является полупроводящей средой, для которой

$$\epsilon_r \approx 1 - 80,8 \frac{N}{f^2}, \quad (1.15)$$

где f — частота колебаний, создающих волну. Из (1.15) видно, что чем больше N , тем меньше ϵ_r . Коэффициент же преломления $n = \sqrt{\epsilon_r}$.

Так как значение N возрастает с увеличением высоты h , то направление луча постепенно искривляется (рис. 1.9, б). Если принять, что луч падает на нижнюю границу слоя под углом φ_0 , а $\epsilon_r = 1$ (для воздуха), то из закона преломления $\left(n_{\text{возд}} \sin \varphi_0 = n_{\text{и}} \sin \frac{\pi}{2} \right)$ можно вывести условие возврата луча к Земле (в точке возврата $\varphi_0 = 90^\circ$, $n_{\text{возд}} = 1$):

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 80,8 \frac{N}{f^2}}.$$

Из приведенных соотношений видно, что чем короче волна, тем меньше преломление при прочих равных условиях.

Теперь можно определить наивысшую частоту f_{max} , при которой энергия в луче еще возвратится на Землю. Она оказыва-

ется следующей:

$$f_{\text{мпч}} = \sqrt{\frac{80,8 N_{\text{max}}(1 + 2h_r/a)}{\sin^2 \varphi_0 + 2h_r/a}} \quad (1.16)$$

и называется максимально применимой частотой (МПЧ). В формуле (1.16) N_{max} — наибольшая концентрация электронов в ионизированном слое; h_r — высота границы ионосферы; a — радиус Земли.

На рис. 1.9, *в* показаны траектории лучей при нескольких различных частотах, причем частота f_4 соответствует максимально применимой частоте. При $f_5 > f_4$ ни в одной точке Земли не будет зафиксировано поле излучения антенны A_1 (если, конечно, пренебречь другими путями распространения).

Формула (1.16) неоднозначна вследствие зависимости f_{max} от φ_0 . Поэтому вводят понятие критической частоты, которая является максимально применимой частотой при $\varphi_0 = \pi/2$. Очевидно, что

$$f_{\text{крит}} = \sqrt{80,8 N_{\text{max}}} \quad (1.17)$$

и представляет собой наинизшую из всех МПЧ.

Если же выбрать $\varphi_0 = 0$ (луч направлен вдоль линии горизонта), то получим второе максимально возможное (при данном N_{max}) значение МПЧ

$$f_{\text{мпч max}} \approx \sqrt{\frac{80,8 N_{\text{max}} a}{2h_r}} \quad (1.18)$$

Ясно, что для заданной трассы при заданных значениях N_{max} и φ_0 может и существовать, а может и не существовать значение частоты $f_{\text{крит}} < f < f_{\text{мпч max}}$, при которой возможна радиосвязь. Так как значения N_{max} и φ_0 от нас не зависят, то для непрерывной длительной радиосвязи между заданными пунктами необходимо время от времени производить смену рабочих частот.

Поскольку в ионосфере происходит не только преломление лучей, но и поглощение энергии (особенно в слоях D и E), то даже при создании условий возврата лучей поле их в точке приема может быть очень слабым. Это значит, что линия передачи сигналов может практически не образоваться.

§ 1.5. ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИОЛИНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТАХ

Из § 1.4 следует, что создать некоторое минимально необходимое поле излучения можно в принципе на любой частоте. Причем полная мощность излучения при заданных (экономически целесообразных) размерах антенн возрастает с ростом частоты

источника, т. е. с уменьшением длины излучаемой волны. При этом для окончательного решения вопроса о выборе целесообразной длины волны необходимо принять во внимание условия распространения радиоволн, зависящие, как было показано ранее, в основном от трех факторов, а также интенсивности помех, скорость передачи и др.

Рассмотрим теперь особенности образования радиолинии для различных диапазонов длин волн.

В радиовещательных приемниках радиоволны условно разделены на длинные (приблизительно от 2000 до 600 м), средние (600—200 м), короткие (100—10 м) и ультракороткие (короче 10 м). Более научно обоснованным и узаконенным Государственным стандартом является деление волн на километровые, гектометровые, декаметровые и т. д. вплоть до субмиллиметровых. Более короткие волны относятся к световым. Следует, конечно, понимать, что четкой границы между смежными диапазонами не существует. Например, пограничная длина волны 100 м может иногда распространяться как гектометровая, а иногда как декаметровая волна.

Для *километровых волн* всегда выполняется соотношение $l_a/\lambda \ll 1$. Антенны для них строят в виде вертикальных проводов, точнее мачт или башен изолированных от Земли. Вокруг антенны создается заземление — система радиальных проводов для уменьшения потерь в плохо проводящей Земле. Лучи, направленные к ионосфере под большими углами φ_0 , в ней полностью поглощаются, не отражаясь к Земле. Поэтому поле в точке приема при расстоянии порядка 1000 км образуется только за счет дифракционных процессов, будучи ослабленным из-за поглощения в Земле.

При расстояниях, больших 1000 км, в точку приема проходит энергия, излученная антенной под малыми углами φ_0 и частично отраженная от нижних слоев ионосферы (слоя *E*). Из-за малого «участия» ионосферы в создании поля в точке приема оно получается устойчивым, мало зависящим от времени суток и года (хотя слабо выраженный «суточный ход» с увеличением поля ночью наблюдается).

Недостатком длинноволновой радиолинии является плохая излучательная способность антенн. Так как сопротивление излучения антенны невелико, для получения необходимой мощности излучения требуется создание в ней очень больших токов. Сопротивление же потерь в антенне (и заземлении) оказывается больше сопротивления излучения. Это приводит к тому, что большая часть подведенной энергии не излучается, а переходит в теплоту (низкий к. п. д. антенны).

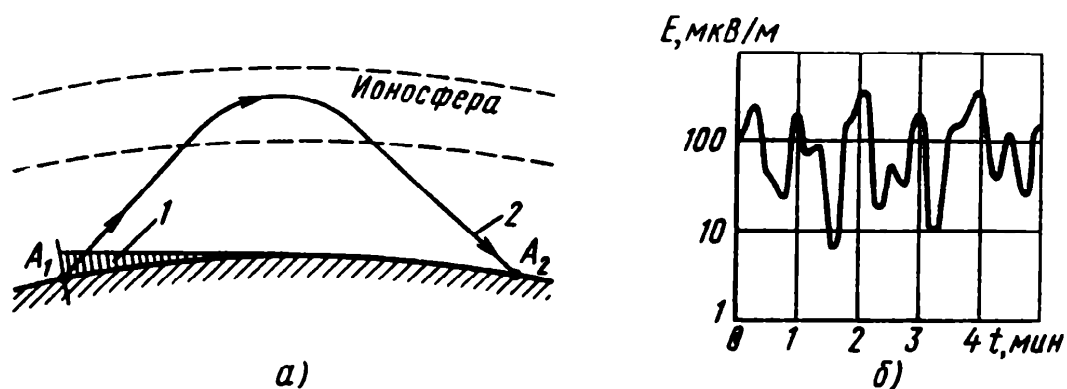


Рис. 1.10. К пояснению возникновения эффекта замираний поля

Длинные волны целесообразно использовать для создания систем устойчивого радиовещания и связи на большие расстояния. Они могут оказаться незаменимыми для связи под водой (куда не проникают волны более высоких частот).

На распространение гектометровых (средних) волн длиной 100—1000 м влияют в основном три фактора: дифракция, поглощение в Земле и преломление в ионосфере. Волны, относящиеся к этому диапазону, по-разному достигают точки приема в дневные и ночные часы. Днем «пространственные» лучи (идушие под углом $\varphi_0 > 0$ к линии горизонта) полностью поглощаются слоем D ионосферы. Поле в точке приема создается за счет дифракции, которая, однако, проявляется слабее из-за укорачивания волны. Потери же энергии при поглощении в Земле возрастают из-за возрастания частоты. Это приводит к тому, что при реально используемых мощностях излучения дальность связи составляет лишь сотни километров (над морем до 1000 км).

В ночные часы слой D исчезает, а слой E частично преломляет энергию волн к Земле. Из-за изменения плотности слоя E флуктуирует и напряженность поля, т. е. наблюдают замирания поля. Траектория распространения средних волн показана на рис. 1.10, а, а типичная временная зависимость напряженности поля — на рис. 1.10, б.

Замирания, или фединг, могут наблюдаться также из-за взаимодействия «пространственных» и «земного» лучей, пришедших в одну точку. Для уменьшения этого явления используют антифединговые антенны, диаграмма направленности которых для уменьшения доли энергии, излучаемой в сторону ионосферы, вытянута в направлении линии горизонта.

Антенны гектометровых волн в целом такие же, как и километровых волн. Однако из-за увеличения l_a/λ возрастает сопротивление излучения и к. п. д. антенн.

Эти волны используют для связи на расстояния до 1000 км для радиовещания и связи на флоте и в авиации. На волне

$\lambda = 600$ м передают международный сигнал бедствия «SOS».

Существенные изменения в создании линии связи происходят на *декаметровых* (коротких) волнах ($\lambda = 100 \div 10$ м). Явление дифракции при передаче таких волн не существенно, в частности, из-за резкого возрастания потерь энергии в Земле. Поле в точке приема создается в основном за счет отражения от слоев D , E , F_1 и F_2 (слои D и E вызывают также наибольшее поглощение). Конструкции антенн, используемых на коротких волнах, разнообразны, однако они по-прежнему имеют вид систем проводов.

При длине волн в десятки метров уже сравнительно просто построить антенны в четверть или половину длины волны и, таким образом, отчасти «управлять» диаграммой направленности. К. п. д. коротковолновых антенн существенно возрастает ($R_{\Sigma} \gg R_{\Pi}$).

Типичная картина хода лучей на коротких волнах показана на рис. 1.11. К антенне A_2 в точке приема энергия может прийти по нескольким лучам (луч 1 претерпел преломление в слое F , луч 2 — двукратное преломление и отражение от Земли в точке B).

В результате флуктуации плотности и высоты слоев и взаимодействия лучей на КВ, как правило, наблюдаются глубокие замирания и даже полное пропадание связи в интервалах времени до нескольких минут.

Для круглосуточной связи на декаметровых волнах необходимо производить периодическую смену рабочих частот, согласно состоянию ионосферы. Для облегчения связи создаются специальные службы наблюдения за ионосферой (путем ее зондирования радиоимпульсами). Опыт показывает, что благоприятные условия прохождения волн днем чаще всего складываются на волнах 10—25 м, а ночью — на волнах 35—70 м («дневные» и «ночные» волны). Утром и вечером на рассматриваемой трассе необходима частая смена волн.

В диапазоне КВ на создание поля влияет и ряд других явлений, таких, как солнечные вспышки, рассеяние волн на мелких неоднородностях ионосферы, «расщепление» (разделение) лучей из-за наличия магнитного поля Земли.

Для борьбы с замираниями поля в точке приема на КВ используют ряд специальных методов, которые будут изучаться в радиотехнических курсах.

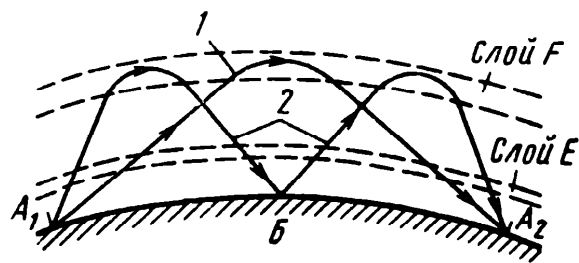


Рис. 1.11. Картина хода лучей на коротких волнах

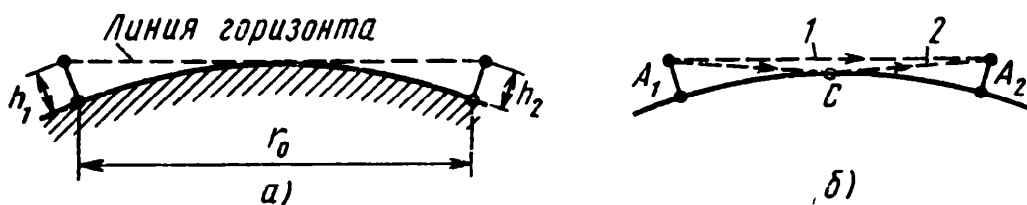


Рис. 1.12. К пояснению распространения метровых волн

Несмотря на ряд недостатков, диапазон КВ широко применяют при создании протяженных (магистральных) линий радиосвязи. На коротких волнах в определенных узких поддиапазонах разрешена также радиолюбительская связь. Интересно отметить, что на заре развития радиотехники, когда еще не было известно о существовании ионосферы, короткие волны считались непригодными для радиосвязи и были полностью «отданы» радиолюбителям.

Для метровых волн ($1 < \lambda < 10$ м) практически отсутствует явление дифракции и поэтому они распространяются в пределах прямой видимости, в том числе и отражаясь от Земли с потерей части энергии на поглощение. Из элементарных геометрических соотношений можно определить, что расстояние прямой видимости между антеннами, расположенными на высотах h_1 и h_2 (рис. 1.12, а),

$$r_0 \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}). \quad (1.19)$$

Здесь, если h_1 и h_2 выражены в метрах, то r_0 — в километрах.

Для увеличения расстояния связи выгодно, чтобы антенны были расположены как можно выше. При этом происходит сложение прямого 1 и отраженного 2 лучей в точке приема (рис. 1.12, б) с вытекающими отсюда последствиями. Теория и опыт показывают, что в метровом диапазоне для связи выгоднее применять волны с горизонтальной поляризацией и предельно увеличивать высоту расположения антенн.

Если метровые волны используют для радиовещания, то антенны могут быть все направленные. Однако в ряде случаев целесообразно концентрировать излучение в направлении корреспондента. Для этого используют многовибраторные антенны (рис. 1.13, а). В них к основному вибратору подведена энергия от передатчика и его диаграмма направленности имеет в горизонтальной плоскости вид восьмерки (обозначена штрихом на рис. 1.13, б). Излучение основного диполя (2) возбуждает колебания в рефлекторе (3) и директорах (1) и они также начинают создавать поле излучения. При этом путем подбора длины вспомогательных вибраторов и расстояний между ними можно добиться того, что на удаленном расстоянии от ан-

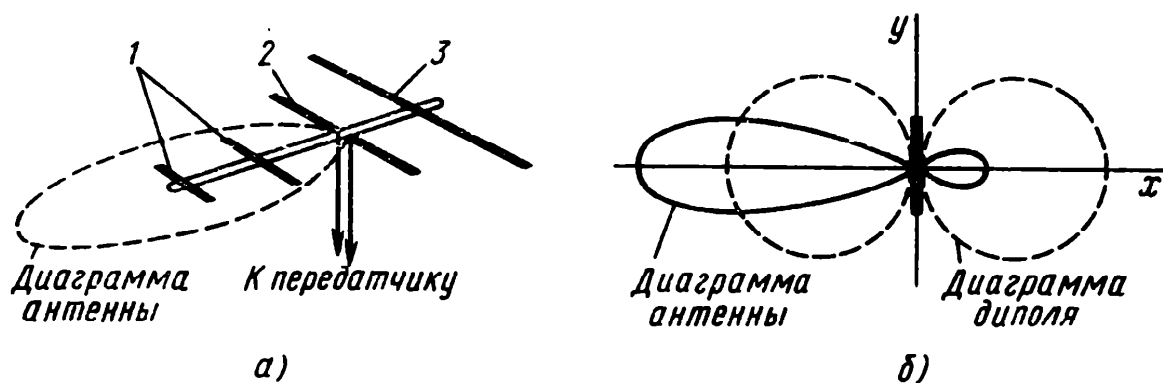


Рис. 1.13. Многовибраторная антенна и ее диаграмма направленности

тенны поле будет усиливаться в направлении директоров и очень сильно ослабляться в направлении рефлектора (сплошная линия на рис. 1.13, б). При этом коэффициент усиления антенны $D \gg 1$.

Хотя дифракция на метровых волнах очень слаба, с повышением чувствительности радиоприемников удается обнаружить очень слабое (степень ослабления поля зависит от расстояния и длины волны) поле и за линией горизонта. Кроме дифракции в создании этого поля участвует также явление рефракции волн в атмосфере, когда лучи распространяются не по прямым линиям, а по дугам.

На волнах короче 4 м начинает существенно сказываться явление рассеяния радиоволн на малых неоднородностях атмосферы и слое E ионосферы, аналогичное рассеянию световых волн на каплях тумана. В результате этого поле оказывается очень слабым, но остается по-прежнему устойчивым. При повышении мощностей передатчиков до нескольких киловатт возможно осуществлять связь на расстояния до нескольких тысяч километров.

Интересно отметить возможность образования радиолинии на метровых волнах между весьма удаленными пунктами за счет отражения волн от ионизированных участков атмосферы, создаваемых метеорами и метеоритами. Такие ионизированные участки существуют лишь несколько секунд, а затем практически исчезают. Однако так как в атмосферу попадает ежеминутно большое число метеоритов (многие из них не видны даже ночью), то можно осуществить достаточно эффективную «прерывистую» (во времени) связь. За появлением следов метеоритов наблюдает специальная радиосистема с небольшой излучаемой мощностью. Как только подходящий след обнаружен, включается мощный передатчик и сообщения «выстреливаются» из него с большой скоростью.

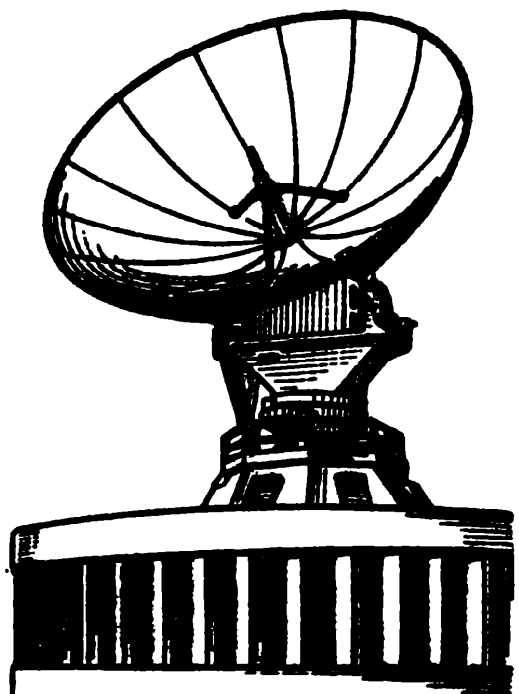


Рис. 1.14. Параболическая антенна

Рассмотрим, наконец, как образуется радиолиния на *сантиметровых* и более коротких волнах. Распространяются они практически только в пределах прямой видимости (при связи на Земле). На этих волнах, так же как иногда и на более длинных — дециметровых, используют специальные остронаправленные антенны: параболические, рупорные, диэлектрические и др.

Наиболее просты явления, происходящие в параболических антеннах (рис. 1.14). Непосредственный излучатель или приемник поля (это может быть обычный вибратор или более сложная система) располагают при-

близительно в фокусе параболической поверхности — *р е ф л е к т о р а*, который концентрирует радиоволны в узкий пучок, подобно концентрации светового пучка в прожекторе. Чем больше поверхность рефлектора, тем при той же длине волны будет уже диаграмма направленности всей системы. Существуют рефлекторы с поверхностью в сотни квадратных метров. Ширина их диаграмм направленности составляет несколько угловых минут.

Рефлектор можно поворачивать и таким образом «следить» за подвижным объектом, например спутником или планетой. Конструкция рефлектора с антенной-облучателем весьма тяжелая и может подвергаться недопустимым деформациям из-за ветров, изменения температуры и т. д. Поэтому часто рефлектор изготовляют в виде хорошо проводящей сетки с размером ячейки, значительно меньшим рабочей длины волны.

Интересной разновидностью параболической антенны является «сегментная» антенна РАТАН, построенная советскими радиоинженерами и используемая при радиоастрономических исследованиях институтами АН СССР.

На рис. 1.15 показаны конструкции рупорной, (а), диэлектрической (б), спиральной (в) антенн.

Для *дециметровых* и более коротких волн ионосфера полностью прозрачна — поле ею не преломляется. Именно поэтому на таких волнах возможна связь Земли с космическими объектами. Однако энергия поля этих диапазонов может быть значительно уменьшена из-за поглощения в каплях дождя, тумана,

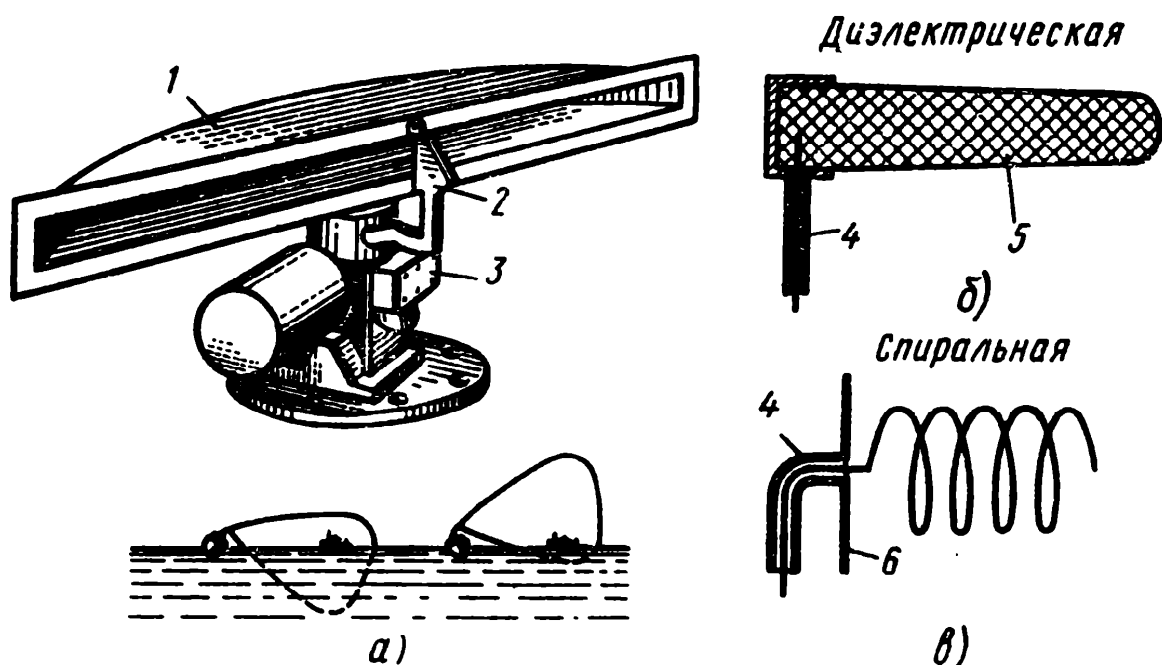


Рис. 1.15. Конструкции антенн дециметровых и сантиметровых диапазонов длин волн:

1 — рупор; 2 — облучатель; 3 — поворотный механизм; 4 — фидер; 5 — диэлектрический стержень; 6 — отражатель

в молекулах кислорода и других газов. Капли дождя (диаметр их 0,2—2 мм) и тумана (диаметр — 2—60 мкм) рассеивают энергию поля сантиметровых волн, отражая ее хаотически во всех направлениях. И хотя напряженность поля достаточно точно может быть определена по формуле

$$E = \frac{173 \sqrt{PD}}{r} F,$$

коэффициент ослабления F в зависимости от длины волны, расстояния и интенсивности дождя или тумана может уменьшаться до значений, в тысячи раз меньших единицы.

Для волн короче 1,5 см начинают проявляться процессы молекулярного поглощения электромагнитного поля. Поле взаимодействует с электронными оболочками молекул, а это приводит к уменьшению его энергии. Молекулярное поглощение имеет резонансный характер: образуются области частот высокого поглощения и относительно прозрачные «окна». На рис. 1.16 показан график ослабления поля сантиметровых волн вследствие поглощения в молекулах кислорода и воды.

Для перехода от частоты в гигагерцах к длине волны в сантиметрах целесообразно использовать формулу

$$\lambda = 30/f.$$

Ослабление на рассматриваемом графике отложено в децибелах — логарифмических единицах ослабления (или усиления),

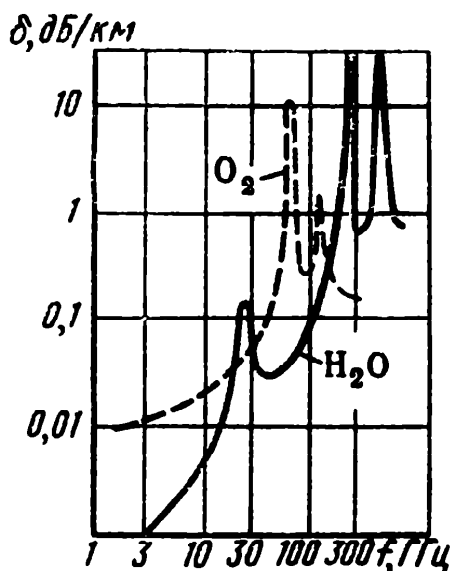


Рис. 1.16. График поглощения радиоволн в атмосфере

гласно уравнению $10 = 20 \lg K$ будет равно

$$K = 10^{1/2} = \sqrt{10} \approx 3,3.$$

Удобство вычисления ослабления (или усиления) в децибелах состоит в том, что при каскадном соединении нескольких участков линии (или технических устройств) значения δ складываются. Например, в нашем примере ослабление на расстоянии в 2 км будет равно 6,6 дБ.

Из рис. 1.16 видно, что самое малое поглощение («окно прозрачности») имеет место в диапазоне волн 0,5—1,35 см. Затухание здесь составляет всего 0,06 дБ/км.

На миллиметровых и субмиллиметровых волнах ослабление поля из-за поглощения в тумане и дожде резко возрастает (до 30—100 дБ/км). При этом в результате молекулярного поглощения образуется большое количество максимумов поглощения и «окон прозрачности» различной ширины.

В настоящее время диапазон волн, используемых в радиотехнике, простирается до инфракрасных (100—0,75 мкм) и даже видимых (0,75—0,4 мкм) длин волн, генерируемых специальными приборами — лазерами (о них будет рассказано далее). Поглощение таких волн в тумане и дожде может достигать сотен децибел на километр, что означает их практическую неприменимость в подобных погодных условиях.

Благодаря поглощению волн микрометрового диапазона в молекулах атмосферы образуется много «пиков» поглощения и «окон прозрачности». Самое прозрачное «окно» находится в диапазоне 0,4—0,85 мкм. Поэтому не удивительно, что в резуль-

часто используемых в радиотехнике применительно к самым различным величинам. При усилении величины в K раз усиление в децибелах

$$K_{\text{дБ}} = 20 \lg K. \quad (1.20)$$

Если $K < 1$ (т. е. происходит ослабление), то $K_{\text{дБ}}$ будет в силу свойств функции логарифма отрицательным. Усиление с отрицательным значением $K_{\text{дБ}}$ называют ослаблением в децибелах и выражают положительными числами. Так, на рис. 1.16 показано ослабление поля в децибелах на километр. Ослабление $\delta = 10$ дБ/км означает, что ослабление поля на расстоянии в 1 км со-

тате эволюции именно в этом диапазоне волн природа обеспечила высокую чувствительность глаз человека и наземных животных.

На столь коротких волнах теоретически легко создавать антенны с очень узкими диаграммами направленности, так как размеры антенн оказываются небольшими. Однако возрастающие требования к точности изготовления таких антенн и условия распространения волн этого диапазона отчасти снижают возможность их использования. Так, узкий луч на миллиметровых волнах из-за рассеяния на неоднородностях атмосферы (и других явлений) начинает «качаться», изменяя ширину, поляризацию и степень когерентности, т. е. колебания перестают быть гармоническими.

Метровые и более короткие волны находят широкое применение. Метровые и дециметровые волны используют в телевидении, радиовещании, местной связи и навигации на аэродромах, в связи с подвижными объектами в городах. На сантиметровых волнах работают радиорелейные линии, радиолокационные системы, системы связи с космическими объектами. Еще более короткие волны, возможно, окажутся целесообразными для использования не в открытом пространстве, а в закрытых системах — волноводах и световодах. Пути их применения находятся в стадии экспериментальных разработок, о чем будет рассказано несколько позднее.

§ 1.6. СООБЩЕНИЯ И ИХ ОТПРАВЛЕНИЕ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОМ

Одним из первичных понятий мира (наряду с материей и энергией) является информация. Для наших целей достаточно определить ее как *знания*, которых не было в некоторой точке пространства до получения информации.

Ясно, что, будучи не материальной («мысль», «идея»), информация может быть отправлена и получена только с помощью материальных носителей, которые и называют сообщениями. Сообщения могут быть различных типов, однако их можно подразделить на три основные группы.

Дискретными сообщениями являются последовательности любых знаков, например букв русского (и любого другого) алфавита. С точки зрения отправления форма и содержание дискретных сообщений не существенны. Важно лишь знать общее количество знаков M , из которых строится сообщение любой необходимой длительности. Число знаков M называют *объемом алфавита*. С точки зрения теории информации необ-

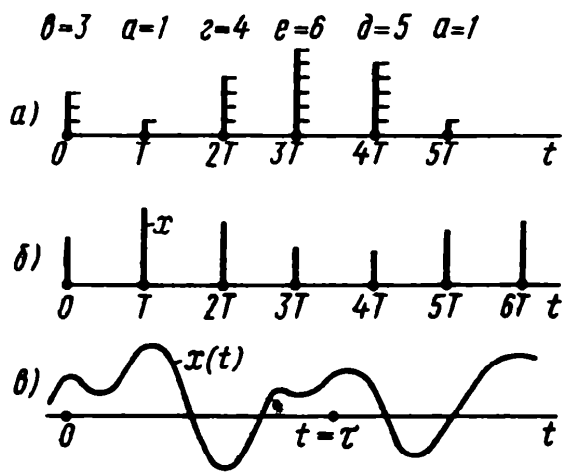


Рис. 1.17. Схема различных видов сообщений

«вагеда» в случае, когда буквы пронумерованы в алфавитном порядке ($a=1, b=2, в=3$ и т. д.). Каждая буква представлена вертикальным отрезком соответствующей длины. При этом принято, что буквы «возникают» через интервалы времени T .

На рис. 1.17, б представлен второй основной вид сообщений: дискретных по времени, но непрерывных по уровню. Физическим примером такого сообщения может служить измерение температуры, производимое через интервалы времени T . Ясно, что значения температуры могут быть любыми и выражаться не обязательно целыми числами.

Третьим основным видом сообщений являются непрерывные сообщения, или функции. Примером их служит человеческая речь, определяющая, например, напряжение на клеммах микрофона. Непрерывные сообщения существуют в любой момент времени t и могут принимать в каждый момент континуум значений.

Можно сказать, что алфавит последних двух видов сообщений бесконечен.

Важнейшим свойством сообщений является их *непредсказуемость*. Это означает, что, наблюдая сообщение с момента $t_1=0$ до любого момента $t=\tau$ (рис. 1.17, в), невозможно предсказать, какие значения примут сообщения при $t \gg \tau$. В самом деле, если бы было иначе, то передавать сообщения, например весь доклад, не потребовалось бы, так как, прослушав часть его, можно было бы предсказать остальное. В этом смысле говорят, что сообщения — это случайные процессы (дискретные или непрерывные).

Теория случайных процессов является интересной и развитой областью математики, очень важной для радиотехники.

Основное назначение систем передачи информации состоит

ходимо также знать частоту (точнее, вероятности) повторения различных знаков. Однако в современных радиосистемах это используют очень редко.

Передача элементов (знаков) любого дискретного сообщения эквивалентна передаче чисел, так как эти элементы можно однозначно пронумеровать.

В качестве примера на рис. 1.17, а представлено искусственное дискретное сообщение

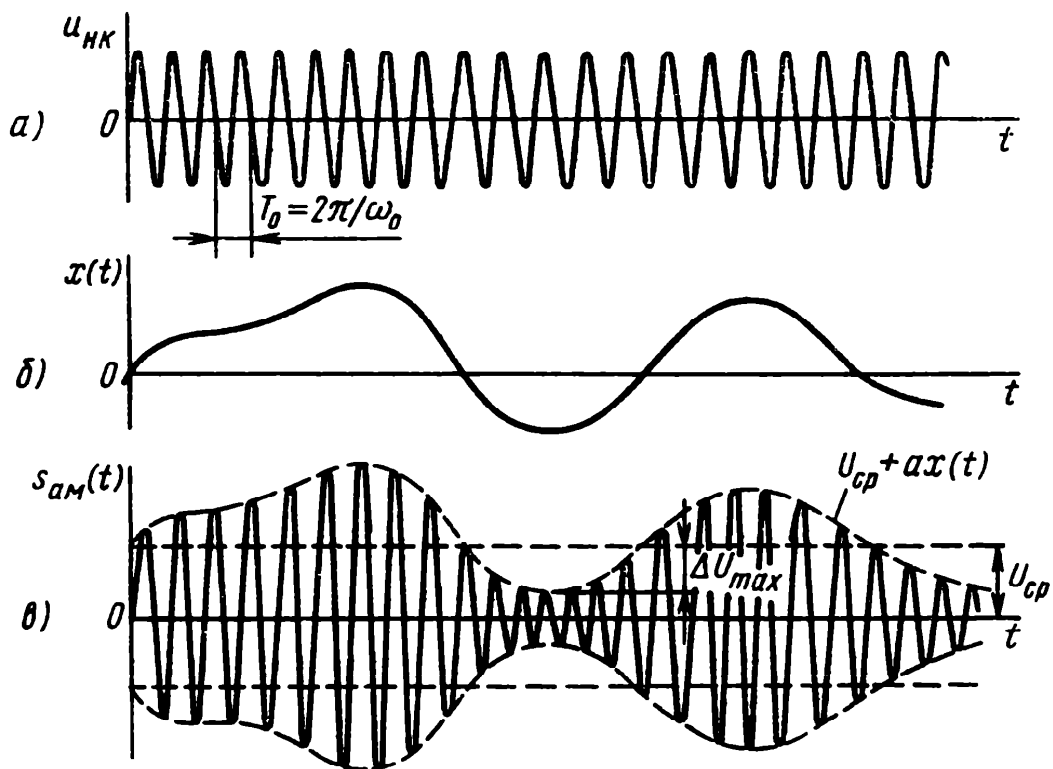


Рис. 1.18. К пояснению получения амплитудно-модулированных сигналов

в передаче не энергии, а сообщений. Это аналогично почте, основное назначение которой состоит в том, чтобы пересылать не бумагу, а знаки, нанесенные на нее и являющиеся сообщениями.

При отправлении сообщений получателю используют *радиотехнические сигналы*. Они образуются за счет наложения сообщений на гармонический носитель (несущее колебание), который и создает поле излучения. Рассмотрим процесс такого наложения на примере передачи непрерывных сообщений $x(t)$. Рассмотрим несущее гармоническое колебание (рис. 1.18, а)

$$u_{HK}(t) = U \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (1.21)$$

Постоянные величины U , ω_0 и φ_0 , как известно из курса физики, называются амплитудой, частотой и начальной фазой несущего колебания. Сущность наложения $x(t)$ на $u_{HK}(t)$ состоит в изменении (модуляции) одной из этих величин в соответствии с сообщением $x(t)$ (рис. 1.18, б).

Наиболее просто описывается математически (и создается физически, технически) изменение амплитуды или амплитудная модуляция (АМ). Действительно, предположим, что

$$U = U_{cp} + ax(t), \quad (1.22)$$

где a — коэффициент пропорциональности; U_{cp} — значение амплитуды при $x(t) = 0$. Тогда из (1.21) и (1.22) получим выражение

для амплитудно-модулированного сигнала

$$s_{\text{амс}}(t) = [U_{\text{ср}} + ax(t)]\cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (1.23)$$

Из представленного на рис. 1.18, в графика сигнала $s_{\text{амс}}(t)$ видно, что в момент времени $t=0$ сообщение $x(t)$ начинает изменяться и в точном соответствии с ним начинает изменяться амплитуда сигнала $s_{\text{амс}}(t)$.

Важные для практики выводы можно получить, если рассмотреть сообщение $x(t)$, состоящее на N гармонических колебаний с соответствующими амплитудами, частотами и начальными фазами, т. е. если

$$x(t) = U_1 \cos(\Omega_1 t + \Phi_1) + U_2 \cos(\Omega_2 t + \Phi_2) + \dots \\ \dots + U_N \cos(\Omega_N t + \Phi_N). \quad (1.24)$$

После простых алгебраических преобразований и подстановки (1.24) в (1.23) будем иметь

$$s_{\text{амс}}(t) = U_{\text{ср}} \left[1 + \frac{a U_1}{U_{\text{ср}}} \cos(\Omega_1 t + \Phi_1) + \dots + \right. \\ \left. + \frac{a U_N}{U_{\text{ср}}} \cos(\Omega_N t + \Phi_N) \right] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U_{\text{ср}} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \\ + \sum_{i=1}^N \frac{M_i U_{\text{ср}}}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega_i) t + \varphi_0 + \Phi_i] + \sum_{i=1}^N \frac{M_i U_{\text{ср}}}{2} \cos[(\omega_0 - \\ - \Omega_i) t + \varphi_0 - \Phi_i]. \quad (1.25)$$

Здесь $M_i = a U_i / U_{\text{ср}}$ — частичный коэффициент модуляции. В соответствии с (1.22) $a U_i = \Delta U_i$ есть наибольшее *приращение амплитуды* сигнала, вызванное i -й составляющей, сообщения (1.24). Следовательно,

$$M_i = \Delta U_i / U_{\text{ср}}$$

и характеризует наибольшее относительное приращение амплитуды, вызванное i -м членом $x(t)$. Ясно, что полное приращение ΔU_{max} (рис. 1.19, в) не может быть больше $U_{\text{ср}}$, так как амплитуда колебания не может быть меньше нуля. Поэтому значения суммарного коэффициента модуляции $M = \Delta U_{\text{max}} / U_{\text{ср}}$ заключены между 1 и 0 ($0 \leq M \leq 1$). Нулю соответствует отсутствие модуляции [$x(t) = 0$], единице — наиболее глубокая модуляция (до нулевой амплитуды).

Из выражения (1.25) следует важнейший вывод: амплитудно-модулированный сигнал (АМС) (колебание) содержит ряд гармонических колебаний с различными частотами, амплитудами и начальными фазами. Эти колебания в совокупности образуют спектр сигнала. В спектре АМС можно

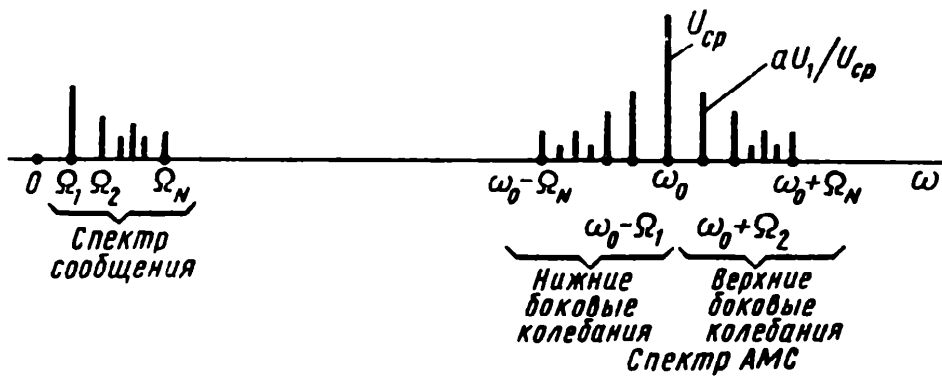


Рис. 1.19. Спектральная диаграмма колебаний сообщений и АМС

выделить три различные группы гармонических колебаний. Первая группа, характеризуемая первым слагаемым, является несущим колебанием. Колебания, соответствующие второй группе, имеют частоты $\omega_0 + \Omega_i$, амплитуды $M_i U_{ср}/2$ и начальные фазы $\varphi_0 + \Phi_i$ и называются верхними боковыми. Аналогично, колебания третьей группы с частотами $\omega_0 - \Omega_i$, теми же амплитудами и начальными фазами $\varphi_0 - \Phi_i$ называют нижними боковыми. Как видно из выражения (1.25), боковые составляющие существуют лишь, если $U_i \neq 0$, т. е. если есть модуляция несущего колебания.

Описанную картину удобно представить наглядно спектральной диаграммой (рис. 1.19), на которой амплитуды составляющих, соответствующих частотам, откладываемым по горизонтальной оси, даны вертикальными отрезками.

Важнейший для практики вывод состоит в том, что АМС занимает в эфире диапазон частот, ширина которого, как видно из рис. 1.19, определяется выражением

$$\Delta\omega_{амс} = 2\Omega_N. \quad (1.26)$$

При этом средняя частота спектра равна частоте несущего колебания.

Из рассмотренного получаем еще два важных следствия:

1. Блоки радиопередатчика, передающая антенна, а также приемная антенна и блоки радиоприемного устройства, чтобы не было искажений сигналов и сообщений, должны одинаково пропускать все составляющие спектра АМС.

2. В заданном диапазоне частот (длин волн) от $\omega_{мин}$ до $\omega_{мах}$ можно расположить без помех друг другу лишь конечное число радиостанций, причем это число

$$K_{мах} \leq (\omega_{мах} - \omega_{мин}) / (2\Omega_N). \quad (1.27)$$

В противном случае верхние боковые колебания одной радиостанции совпадут (или почти совпадут) с нижними боковыми

другой и их отдельный прием фильтрами станет невозможным.

Нетрудно убедиться, что емкость диапазонов волн возрастет по мере увеличения частот. Так, если $F_N = \Omega_N / (2\pi) = 5$ кГц, то в километровом диапазоне (10 000—1000 м), когда (f — в кГц)

$$f_{\max} = \omega_{\max} / (2\pi) = c / \lambda_{\min} = 300 / 1000 = 300,$$

$$f_{\min} = \omega_{\min} / (2\pi) = c / \lambda_{\max} = 300 / 10\,000 = 30,$$

в соответствии с (1.27) можно расположить не более $K_{\max} = \frac{300 - 30}{2.5} = 27$ радиостанций (фактически даже меньше из-за

необходимости создания защитных промежутков по частоте). При тех же условиях в метровом диапазоне (10—1 м) число радиостанций равно 27 000. Это является одной из причин стремления осваивать все более коротковолновые диапазоны.

Здесь рассмотрены относительно подробно свойства амплитудно-модулированных сигналов. Однако в соответствии с сообщением $x(t)$ можно промодулировать так же начальную фазу и частоту несущего колебания. В первом случае получим фазомодулированный сигнал (ФМС):

$$s_{\text{фмс}}(t) = U \cos [\omega_0 t + bx(t) + \varphi_{\text{ср}}], \quad (1.28)$$

где b — коэффициент пропорциональности, который определяет пределы изменения начальной фазы. Начальная фаза φ_0 несущего колебания изменяется при этом по закону

$$\varphi_0 = \varphi_{\text{ср}} + bx(t). \quad (1.29)$$

Коэффициент b называют индексом модуляции, от значения которого зависит способность сигналов «противостоять» помехам. Это свойство сигналов будет рассмотрено несколько позже.

При частотно-модулированном сигнале (ЧМС) частота колебаний изменяется по закону

$$\omega(t) = \omega_{\text{ср}} + cx(t), \quad (1.30)$$

где c характеризует пределы изменения частоты, так называемую девиацию частоты.

В курсе «Теория сигналов и цепей» говорится о том, как получить аналитические выражения ЧМС, поскольку их нельзя получить простой подстановкой (1.30) вместо ω_0 в выражение (1.21), так как (1.21) верно лишь при *постоянной* частоте.

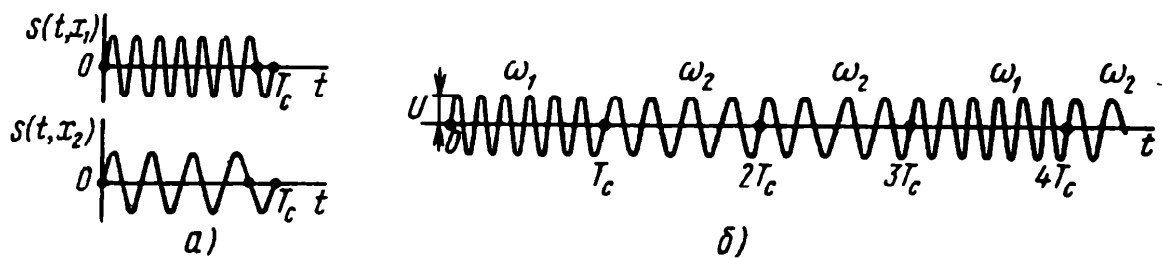


Рис. 1.20. Дискретные сигналы и их последовательность

Важно, однако, помнить, что при ФМ и ЧМ сигналы, как и АМС, занимают в эфире определенный диапазон частот, но его ширина $(\Delta\omega)_{\text{чмс, фмс}} \gg (\Delta\omega)_{\text{ам}}$. При проигрыше в числе станций, которые размещаются в заданном диапазоне частот, есть выигрыш в помехоустойчивости сигналов.

Так как обычно полосы ЧМС и ФМС в несколько раз (5 — 10) шире полосы АМС, то применение ЧМ (она применяется по ряду причин чаще ФМ) допустимо только на метровых и более коротких волнах.

Итак, было рассмотрено, как передаются непрерывные сообщения (функции). Дискретные сообщения (целые числа x_1, x_2, \dots, x_m) передают путем сопоставления каждого элемента x_i с отдельным сигналом $s(t, x_i)$. Это могут быть, например, «отрезки» гармонического колебания различной частоты. На рис. 1.20, а показаны два таких дискретных сигнала, соответствующие двум элементам x_1 и x_2 . Так как на практике подобные сигналы часто получают за счет смены частоты одного генератора гармонических колебаний, то последовательность таких сигналов можно рассматривать как результат частотной модуляции несущего колебания. Однако чтобы подчеркнуть дискретный характер смены частоты, говорят не о модуляции, а о *манипуляции* частоты (рис. 1.20, б).

Ясно, что длительность сигналов T_c не может быть больше $1/v$, где v — желательная скорость отправления элементов x_i (в секунду). Так, если $v = 10$ букв/с, то $T_c = 0,1$ с.

При дальнейшем обучении станет известно, что возможны другие способы построения дискретных сигналов. Каждый вид сигналов имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от условий (искажений, вносимых линией при распространении, вида помех, способа радиоприема). Сейчас же важно уяснить, что сигналы дискретного вида и их последовательности также можно представить в виде совокупности гармонических колебаний разных частот. Теоретически ширина таких спектров оказывается бесконечной. Однако боковые колебания, удаленные от средней частоты ω_0 , быстро убывают по амплитуде. Можно счи-

тать, что энергия рассмотренных дискретных сигналов сосредоточена в полосе

$$(\Delta\omega)_{ис} \approx 2\pi/T_c \text{ или } (\Delta f)_{ис} \approx 1/T_c,$$

где $(\Delta f)_{ис}$ выражается в герцах. Это означает, что чем короче сигналы (т. е. чем выше скорость их отправления), тем шире полоса занимаемых ими частот. Так, если $T_c = 1$ мкс, то в МГц

$$(\Delta f)_{ис} = (\Delta\omega)_{ис}/(2\pi) = 1/10^{-6} = 1.$$

Такую полосу можно инженерно осуществить только на весьма коротких волнах. Следовательно, и с точки зрения повышения скорости передачи сообщений целесообразно осваивать высокочастотные диапазоны.

О том, как реализовать на практике процессы генерирования несущего колебания, модуляции и манипуляции, будет рассказано в следующих разделах книги. Сначала же целесообразно рассмотреть вопрос о функциях (назначении) радиоприемника.

§ 1.7. ЧТО ПРОИСХОДИТ В РАДИОПРИЕМНИКЕ. РАДИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ

Созданные радиопередатчиком модулированные сигналы при передаче непрерывных сообщений $x(t)$ или последовательности дискретных сигналов (при передаче элементов x_i) усиливают и затем преобразуют с помощью передающих антенн в поле излучения. Последнее распространяется в соответствии с рассмотренными в § 1.5 особенностями. Претерпев ослабление и большие или меньшие искажения формы, сигналы достигают приемной антенны.

Назначение радиоприемного устройства (РПУ) состоит в преобразовании сигналов, поступивших в форме электромагнитного поля, в сообщения, непрерывные или дискретные, которые бы возможно более точно совпадали с сообщениями, отправляемыми передатчиками. Полного совпадения никогда быть не может из-за существования в природе неизбежных электрических помех (шумов) и искажения формы сигналов в радиоканале.

Источниками помех являются электрические процессы, происходящие в атмосфере (атмосферные помехи), промышленные электротехнические устройства (индустриальные помехи), космос и наземные тела (тепловые шумы), внутренние шумы радиоустановок, обусловленные дискретной природой вещества.

В РПУ последовательно осуществляется ряд *основных операций*: превращение поля излучения в напряжение, селекция (выбор) необходимого сигнала (радиостанции), усиление сиг-

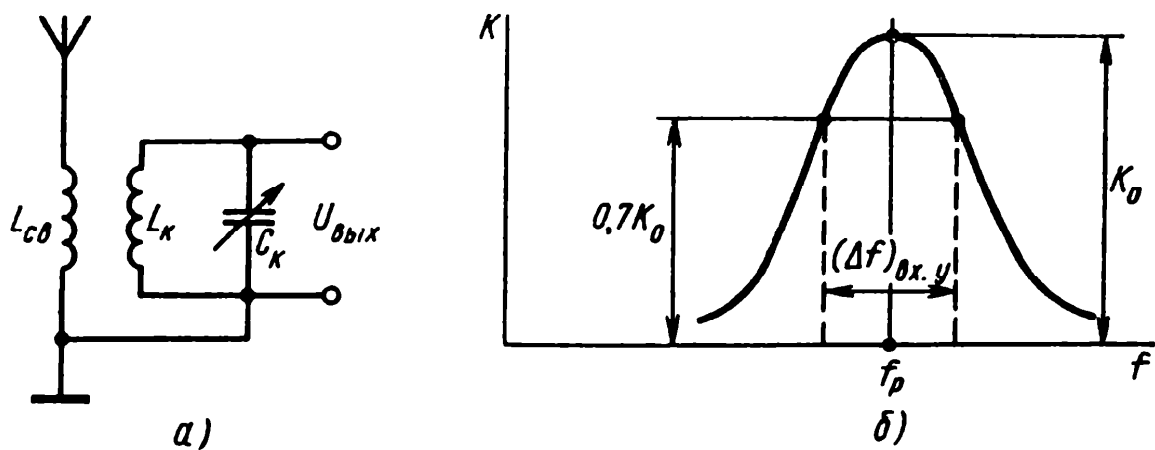


Рис. 1.21. К пояснению образования избирательной системы на входе радиоприемника

налов и преобразование их в сообщения, усиление сообщений и преобразование их в необходимую физическую форму (звуков, световых изображений, печатных знаков и др.).

Преобразование поля излучения в напряжение производят с помощью приемной антенны. В радиовещательных приемниках это обычно вертикальный отрезок проводника («штырь») некоторой длины l или так называемая магнитная антенна — катушка, намотанная на сердечник из ферромагнитного материала с малыми потерями.

По закону электрической индукции в антенне создается э. д. с.

$$U_a \cong El,$$

где E — напряженность излучаемого передатчиком поля в точке расположения приемной антенны.

В специальных («профессиональных») приемных системах антенна может быть весьма сложным сооружением, например, представлять собой параболический рефлектор, рупорную или иную антенну. Так, упомянутая ранее антенна РАТАН является по существу приемной антенной.

Селекция необходимого сигнала с несущей частотой $\omega_0 = 2\pi f_0$ производится обычно с помощью резонансных систем. В простейшем случае (на радиоволнах длиннее дециметровых) такой резонансной системой является колебательный контур, состоящий из индуктивной катушки L_k и конденсатора C_k . Колебательный контур связан с антенной посредством трансформатора, образованного катушкой связи $L_{св}$ и катушкой контура (рис. 1.21, а).

С помощью конденсатора переменной емкости C_k контур можно настроить на резонансную частоту

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_k C_k}},$$

на которой амплитуда выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ достигает наибольшего значения. Коэффициент передачи резонансной системы

$$K = U_{\text{вых}}/U_a$$

при f_p также достигнет максимума K_0 (рис. 1.21, б). Если частота f_p совпадает с несущей частотой f_0 некоторой радиостанции, то будет выделено колебание именно этой радиостанции.

Из рассмотрения свойств модулированных и манипулированных сигналов ясно, что радиостанция излучает целый спектр частот. Колебательный контур должен приблизительно с одинаковым коэффициентом передачи «пропускать» весь этот спектр. Поэтому для инженерных расчетов вводят понятие полосы пропускания — область частот в окрестности f_0 , где коэффициент передачи уменьшается не более чем в 1,41 (точнее в $\sqrt{2}$) раз по сравнению с максимальным K_0 (рис. 1.21, б).

Полоса пропускания всего РПУ зависит не только от полосы пропускания входного контура. Однако ясно, что для хорошего приема необходимо выполнение условия $(\Delta f)_{\text{рпу}} \geq (\Delta f)_c$.

Делать полосу пропускания РПУ значительно шире, чем спектр сигналов, не выгодно, так как это приводит к увеличению электрических помех на выходе РПУ.

Кроме рассмотренного выбора сигнала по частоте (частотная селекция) возможен выбор сигнала по направлению прихода. Такую пространственную селекцию производят, например, в радиолокации и осуществляют с помощью антенн с узкой диаграммой направленности. Возможны и другие виды селекции (по времени прихода, поляризации сигналов и др.).

Усиление радиосигналов производится в последующих каскадах РПУ. При этом используют два варианта: либо непосредственное усиление сигнала, либо усиление после предварительного изменения (чаще понижения) его несущей частоты. Соответствующие этим вариантам приемники называют приемниками прямого усиления и супергетеродинными.

Понижение частоты сигналов выгодно прежде всего с точки зрения упрощения конструкции приемника, так как усиливать более низкие частоты легче. О других преимуществах супергетеродинного способа приема можно узнать из курса «Радиоприемные устройства».

Преобразование сигналов в сообщения осуществляется с помощью процесса демодуляции, или детектирования.

Рассмотрим функциональную схему радиотехнической системы связи (рис. 1.22).

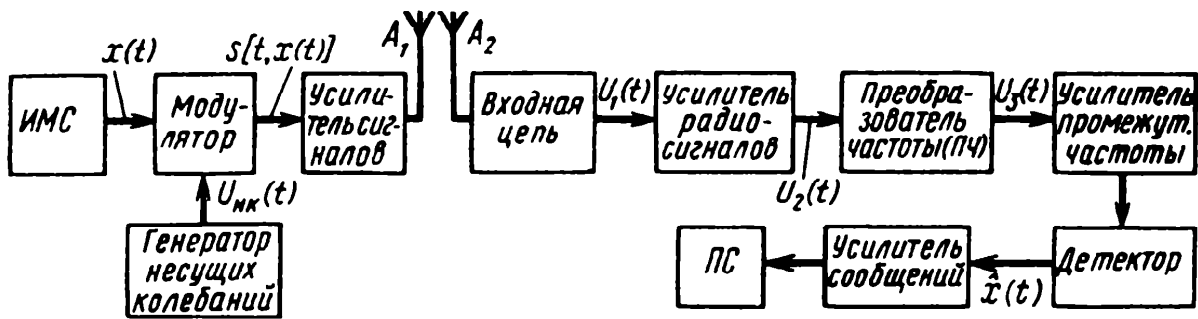


Рис. 1.22. Структурная схема радиотехнической системы связи

Источник сообщений (ИС) создает колебания $x(t)$, которые модулируют несущее колебание $U_{нк}(t)$, создавая сигналы $s[t, x(t)]$. Эти сигналы усиливаются, поступают в передающую антенну и излучаются антенной A_1 . В приемнике колебания ЭПИ, преобразованные в электрические сигналы (с неизбежными помехами), поступают на входное резонансное устройство и усилитель радиосигналов (УРС). Процессы, протекающие в радиоприемнике, применительно к амплитудно-модулированным сигналам показаны на рис. 1.23, а — г при упрощенном предположении, что сообщение $x(t)$ является гармоническим колебанием (искажения, вызванные помехами, не изображены).

В преобразователе частоты (ПЧ) изменяется несущая частота сигналов f_0 до уровня промежуточной частоты $f_{пч}$, причем обычно $f_{пч} < f_0$ (рис. 1.23, в). После усиления в усилителе промежуточной частоты (УПЧ) сигналы детектируются, в результате чего получают колебания $\hat{x}(t)$, повторяющие (с точностью до помех) форму сообщений передатчика (рис. 1.23, г). Таким образом, цикл передачи (отправления и приема) оказывается завершенным. Колебание $\hat{x}(t)$ в точке приема достаточно точно воспроизводит сообщение: $\hat{x}(t) \approx x(t)$.

§ 1.8. КАК ОСУЩЕСТВЛЯЮТ ОСНОВНЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Основные радиотехнические процессы — модуляция несущих колебаний (в передатчике), преобразование частоты сигналов (в приемнике), детектирование

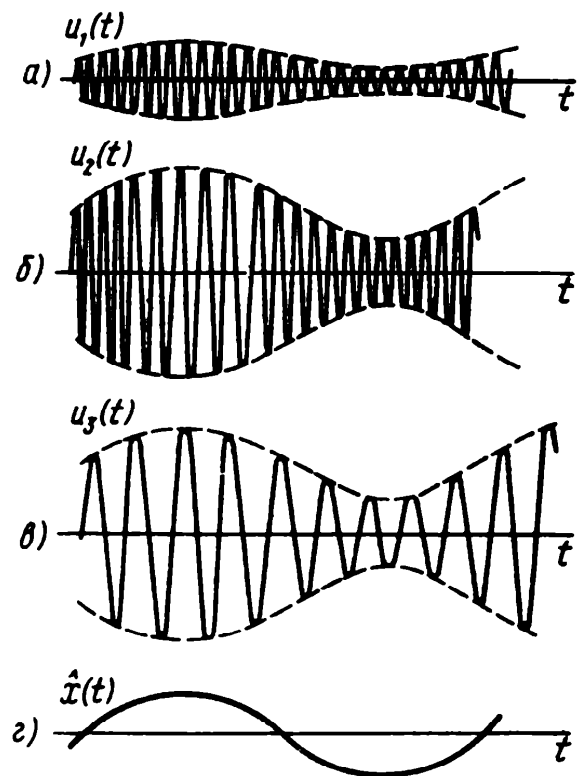


Рис. 1.23. К пояснению процессов в радиоприемнике

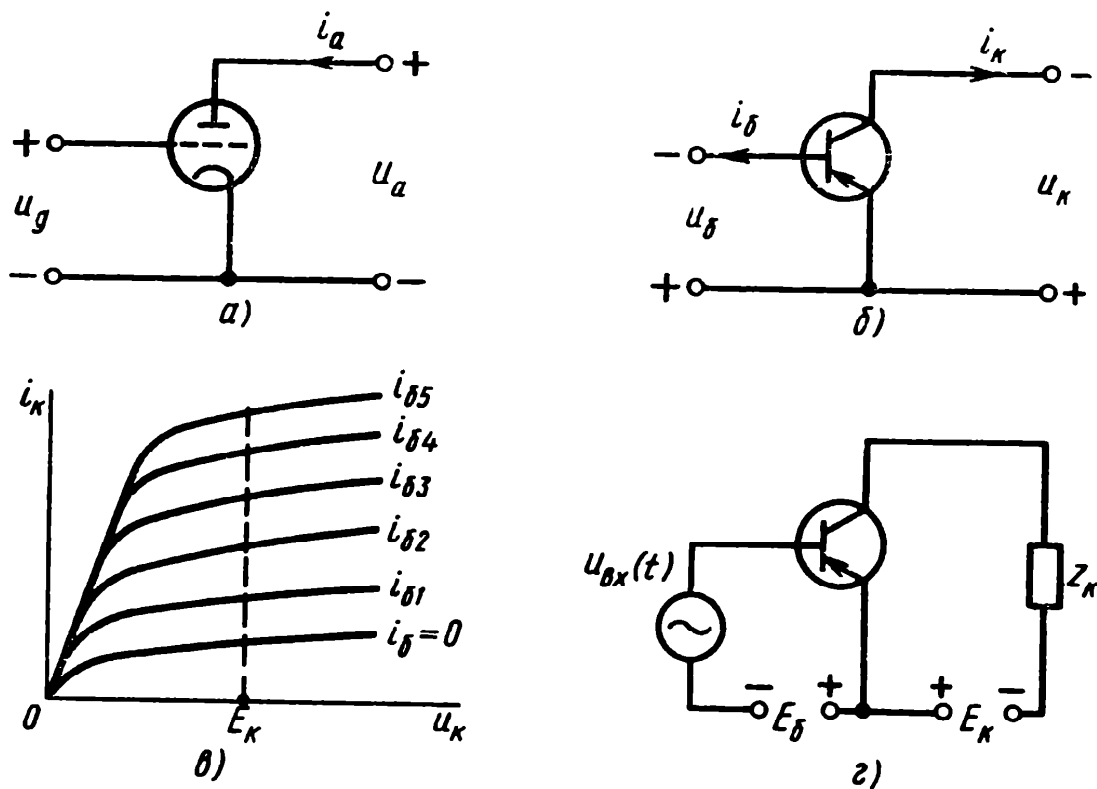


Рис. 1.24. Нелинейные элементы: схемы и характеристика

сигналов (в приемнике), генерирование колебаний (в передатчике и в приемнике) — осуществляются с помощью *активных нелинейных устройств* и поэтому называются нелинейными. Усиление сообщений (в передатчике и приемнике) и усиление сигналов (в передатчике и приемнике) являются линейными процессами.

Кроме перечисленных в системе радиосвязи происходит ряд других процессов, требующих лишь пассивных линейных устройств: индуктивных катушек, конденсаторов, резисторов.

Активными нелинейными устройствами являются электронные лампы, полупроводниковые приборы и специальные активные устройства сверхвысоких частот.

Общие принципы работы электронных ламп, например триода (рис. 1.24, а), и некоторых полупроводниковых приборов, например полупроводникового триода (рис. 1.24, б), известны из курса физики. Характерной особенностью вакуумного и полупроводникового триодов является явно выраженная зависимость управляемых токов (анода i_a и коллектора i_k) от управляющих величин — напряжения на сетке u_g и тока базы i_b . Токи i_a и i_k зависят соответственно также от напряжений на аноде u_a и коллекторе u_k . Типичные зависимости $i_k = f(u_k, i_b)$ приведены на рис. 1.24, в. При заданном $u_k = E_k$ ток i_k растет с ростом i_b , что и обуславливает управляющую роль i_b по отношению к i_k .

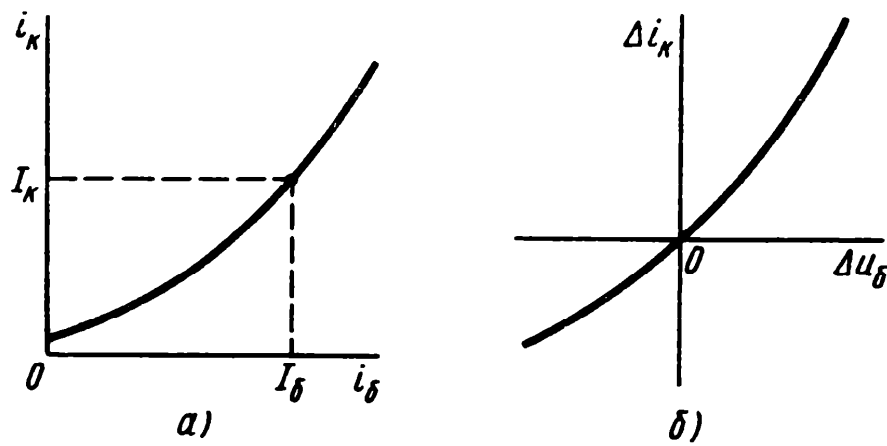


Рис. 1.25. Графики зависимости токов для транзистора

Представим себе схему электрической цепи (рис. 1.24, з), в которой с помощью внешних источников напряжения E_b и E_k созданы определенные токи базы I_b , коллектора I_k или, как принято говорить, установлена рабочая (исходная) точка. В цепь базы включим источник напряжения $u_{вх}(t)$, который будет управлять током $i_b(t)$, а в цепь коллектора — полное нагрузочное сопротивление (импеданс) Z_k . Предположим сначала, что Z_k невелико, так что падением напряжения на нем, создаваемым током i_k , можно пренебречь. Тогда $u_k = E_k$. Воспользовавшись рис. 1.24, в, можно построить зависимость $i_k = f(i_b)$. Она имеет вид, приведенный на рис. 1.25, а. Через I_k обозначено начальное значение тока коллектора, вызванное начальным током базы I_b , обусловленным в свою очередь включенным источником E_b . Если теперь включить источник напряжения $u_{вх}(t)$, то токи базы и коллектора будут получать приращения, положительные или отрицательные в зависимости от изменения полярности $u_{вх}(t)$ (рис. 1.25, б). Зависимость $\Delta i_k = f(\Delta u_b)$ нелинейна. Ее можно приближенно представить в виде степенного многочлена относительно Δu_b :

$$\Delta i_k = a_1(\Delta u_b) + a_2(\Delta u_b)^2 + \dots + a_n(\Delta u_b)^n,$$

где коэффициенты a_1, a_2, \dots, a_n зависят от хода функции $f(\Delta u_b)$.

Будем в качестве $u_{вх}(t)$ подавать различные колебания и наблюдать результат. Если $u_{вх}(t)$ является сообщением $x(t)$, например,

$$u_{вх}(t) = x(t) = U_\Omega \cos \Omega t$$

(низкочастотное гармоническое колебание), то, очевидно, *

* В формулах последующими слагаемыми пренебрегаем ввиду их малости.

$$\Delta i_k = a_1 U_\Omega \cos \Omega t + a_2 U_\Omega^2 \cos^2 \Omega t = a_1 U_\Omega \cos \Omega t + \\ + \frac{1}{2} a_2 U_\Omega^2 + \frac{1}{2} a_2 U_\Omega^2 \cos 2\Omega t.$$

Если в качестве нагрузки Z_k поставить резистор с сопротивлением R_k , то на нем будет падать напряжение

$$\Delta u_k = -\Delta i_k R_k = -(a_1 R_k U_\Omega \cos \Omega t + \frac{1}{2} a_2 R_k U_\Omega^2 + \\ + \frac{1}{2} a_2 R_k U_\Omega^2 \cos 2\Omega t).$$

Видно, что Δu_k содержит постоянное напряжение $\frac{1}{2} a_2 R_k U_\Omega^2$, не представляющее в рассматриваемом процессе интереса, и две переменные составляющие, одна из которых имеет частоту Ω , и является *усиленным сообщением*. Коэффициент усиления

$$K = -a_1 R_k U_\Omega / U_\Omega = -a_1 R_k,$$

где знак минус означает изменение знака колебания на выходе.

Колебание, описываемое вторым и другими слагаемыми, имеет частоту 2Ω и возникает вследствие явления *нелинейных искажений* при усилении. Они состоят в появлении колебаний с частотами, которых не было на входе устройства. Ясно, что если выбрать рабочую точку так, чтобы $a_2 U_\Omega^2 \ll a_1 U_\Omega$, то этим добавочным членом можно пренебречь и считать, что искажений не происходит.

Подадим далее в качестве $u_{вх}(t)$ амплитудно-модулированное колебание вида

$$u_{вх}(t) = u_{ам}(t) = U(t) \cos \omega_0 t,$$

где $U(t)$ — амплитуда, подчиняющаяся закону изменения, заданному сообщением $x(t)$. При $U(t) = \text{const}$ это будет простое высокочастотное гармоническое колебание.

Приращение тока коллектора определится аналогично, как и в предыдущем случае:

$$\Delta i_k = a_1 U(t) \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} a_2 U^2(t) + \frac{1}{2} U^2(t) \cos 2\omega_0 t. \quad (1.31)$$

Если теперь в схеме на рис. 1.24, z в качестве Z_k поставить колебательный LC -контур, настроенный на частоту $\omega_0 = 2\pi f_0$, можно выделить практически только колебание, описываемое первым слагаемым выражения (1.31) и осуществить, таким образом, усиление модулированных высокочастотных колебаний.

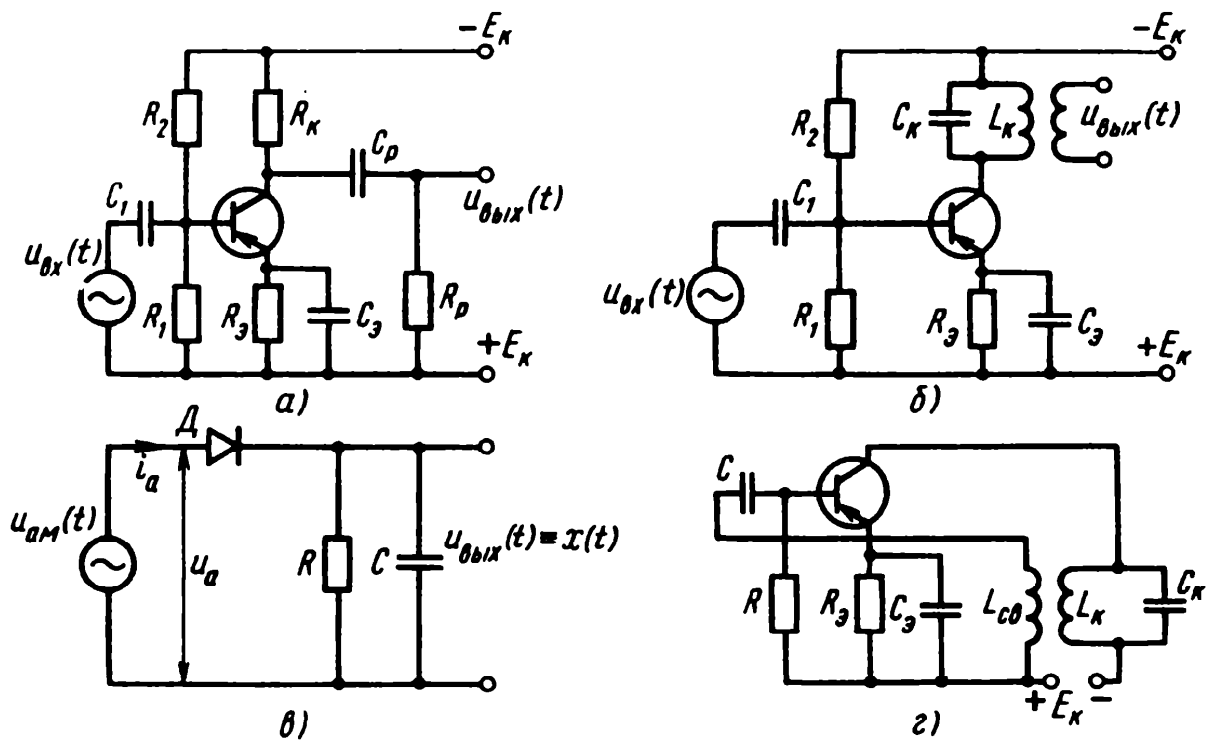


Рис. 1.26. Схемы усилителя сообщений (а), усилителя сигналов (б), детектора (в) и автогенератора (г)

Пусть R_p является максимальным (резонансным) сопротивлением колебательного контура. Тогда напряжение на нем

$$u_{\text{вых}}(t) \approx -a_1 U(t) R_p \cos \omega_p t = -U_{\text{вых}}(t) \cos \omega_0 t.$$

А поскольку $U_{\text{вых}}(t) \gg U(t)$, то будет иметь место процесс усиления.

На рис. 1.26, а, б приведены схемы рассмотренных усилителей сообщений и модулированных (гармонических) сигналов. В первой схеме выходное колебание снимается с резистора R_k , во второй — с колебательного контура через трансформатор. Источник E_6 (см. рис. 1.24, г) отсутствует, так как его заменяет падение напряжения на резисторе R_1 , созданное источником E_k . Это падение напряжения заряжает конденсатор C_1 через внутреннее сопротивление источника $u_{\text{вх}}(t)$, которое и играет роль источника E_6 . Цепь $R_3 C_3$ (совместно с R_1) необходима для температурной стабилизации рабочей точки (уменьшения изменения токов под действием нагрева полупроводникового триода). Цепь $R_p C_p$ не пропускает на выходные клеммы постоянную составляющую напряжения. Для того чтобы эта цепь не ослабляла переменную составляющую напряжения на резисторе, необходимо, чтобы $1/(\Omega C_p) \ll R_p$.

Рассмотрим теперь составляющую тока $\frac{1}{2} a_2 U^2(t)$. Предположим, что $U(t)$ изменяется по низкочастотному гармоническому

закону. Тогда в соответствии с (1.22) и (1.23)

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} a_2 U^2(t) &= \frac{1}{2} U_{\text{ср}}^2 [1 + M \cos \Omega t]^2 = \\ &= \frac{1}{2} a_2 U_{\text{ср}}^2 [1 + M \cos \Omega t + \frac{M^2}{2} \cos 2\Omega t]. \end{aligned} \quad (1.32)$$

Видно, что средний член выражения (1.32) соответствует сообщению. Таким образом, получен ток, который пропорционален сообщению в результате действия модулированного сигнала, т. е. произведена демодуляция. Составляющую частоты Ω можно выделить, если в схеме поставить в качестве нагрузки цепь из параллельно соединенных резистора и конденсатора. При этом, неизбежно, будем выделять и составляющую тока с частотой 2Ω , которой не было при создании модулированного сигнала. Следовательно, детектирование также сопровождается нелинейными искажениями.

Важно обратить внимание на то, что при детектировании, в отличие от усиления, необходимо стремиться к увеличению коэффициента a_2 в аналитическом выражении характеристики $i_k = f(i_0)$. Этого можно добиться, выбирая рабочую точку не на линейном участке характеристики, а на ее изгибе.

На практике детектирование АМС осуществляют чаще с применением диода, а не триода. В схеме такого диодного детектора, приведенного на рис. 1.26, в, конденсатор C включают для того, чтобы на резисторе R не было падения напряжения от высокочастотных составляющих тока. Диодный детектор конструктивно проще и, кроме того, создаваемые им нелинейные искажения можно сделать гораздо меньше, чем в схеме на триоде.

Предположим теперь, что в качестве $u_{\text{вх}}(t)$ поданы два колебания: сигнал и высокочастотное колебание от местного генератора или гетеродина

$$u_{\text{вх}}(t) = u_c(t) + u_r(t) = U_c(t) \cos \omega_0 t + U_r \cos \omega_r t.$$

Среди составляющих тока коллектора будет присутствовать

$$\Delta i_k = 2a_2 U_c(t) U_r \cos \omega_0 t \cos \omega_r t,$$

которую можно записать в виде

$$\begin{aligned} \Delta i_k &= a_2 U_c(t) U_r \cos(\omega_0 - \omega_r) t + a_2 U_c(t) U_r \cos(\omega_0 + \omega_r) t = \\ &= a_2 U_c(t) U_r \cos \omega_{\text{разн}} t + a_2 U_c(t) U_r \cos \omega_{\Sigma}(t). \end{aligned} \quad (1.33)$$

Следовательно, подобрав частоту ω_r , можно получить частоту $\omega_{\text{разн}}$, равную некоторой промежуточной частоте $\omega_{\text{п}}$. Как видно

из выражения (1.33), закон модуляции $U_c(t)$ при преобразовании частоты *не изменяется*. Это же происходит и при других видах модуляции.

Ясно, что схема преобразователя не будет существенно отличаться от схемы усилителя. В цепь коллектора преобразователя необходимо лишь включить резонансную систему, настроенную на частоту ω_n , а не ω_0 , и на вход устройства подать как колебания сигнала, так и колебания местного генератора (последнее часто подают в цепь эмиттера, а конденсатор C_3 при этом не включают).

Рассмотрим далее, как осуществляется процесс *амплитудной модуляции*. Для этого вернемся к исходной характеристике полного тока коллектора i_k и запишем его зависимость от u_6 в виде

$$i_k = a_0 + a_1 u_6 + a_2 u_6^2.$$

Подадим на базу триода сумму напряжений несущего колебания и простейшего сообщения так, чтобы

$$u_{вх}(t) = U \cos \omega_0 t + U_\Omega \cos \Omega t.$$

Нетрудно убедиться в том, что в токе i_k наряду с другими присутствует составляющая

$$\Delta i_k = a_1 U \cos \omega_c t + \frac{1}{2} a_2 U U_\Omega \cos \Omega t \cos \omega_0 t,$$

которую можно представить как

$$\Delta i_k = a_1 U \left[1 + \frac{a_2 U_\Omega}{2U} \cos \Omega t \right] \cos \omega_0 t.$$

Если обозначить

$$M = a_2 U_\Omega / (2U),$$

то становится очевидным, что Δi_k — это амплитудно-модулированный ток с коэффициентом модуляции M , пропорциональным a_2 . При $a_2 = 0$ $M = 0$ и модуляции нет. Это означает, что модуляция возможна лишь при нелинейной характеристике $i_k = f(u_6)$.

Схема модулятора почти повторяет схему усилителя. Однако на вход должны быть поданы два колебания: несущее и модулирующее.

В заключение рассмотрим принцип *генерирования* несущего (или любого гармонического) колебания. Генератор по существу является усилителем с положительной обратной связью. При обратной связи часть выходного сигнала усилителя с колебательного контура подается снова на вход усилителя. Если фаза

и амплитуда входного и выходного колебаний подобраны должным образом, то усилитель усиливает собственные колебания, т. е. генерирует их. При этом оказывается, что «первичные» колебания не нужно подавать от какого-либо внешнего источника. Они возникают в самом колебательном контуре (и подаются на вход) при скачке тока, возникающем при включении напряжения питания триода.

Пример схемы автогенератора приведен на рис. 1.26, г. Индуктивная катушка $L_{св}$ и индуктивная катушка контура L_k образуют трансформатор, с помощью которого подбирают необходимую долю выходного сигнала, подаваемого на вход. Это и есть цепь положительной обратной связи.

Можно было бы назвать и ряд других, используемых в настоящее время для осуществления основных радиотехнических операций устройств. Это параметрические усилители и генераторы, молекулярные усилители и генераторы (мазеры), лазеры, магнетронные генераторы, лампы бегущей волны и др. Рассматривают их в соответствующих специальных курсах.

§ 1.9. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотренная нами выше радиотехническая система связи была первой, появившейся после изобретения радио А. С. Поповым. В настоящее время существует большое количество радиотехнических систем различного назначения. Основными из них являются: системы радиосвязи, радиовещания, телевизионные, радиолокационные, радионавигационные, радиотелеметрические, системы радиоуправления.

Остановимся коротко на назначении и особенностях работы различных систем.

Системы радиосвязи и радиовещания. Под радиосвязью понимают двустороннюю связь между корреспондентами. Она может производиться или непрерывными (речевыми), или дискретными (знаковыми) сообщениями.

Радиовещание в отличие от радиосвязи — это односторонняя связь. При этом один радиопередатчик принимают много «корреспондентов», а сообщения передаются только в форме речи и музыки. Для радиовещания и радиосвязи используется широкий диапазон волн от километровых до дециметровых. Выбор волн зависит от назначения системы, вида сообщения и расстояния, на которое осуществляют связь.

В радиовещании чаще используют амплитудную модуляцию. Частотную модуляцию применяют реже и только на метровых и более коротких волнах. Причина этого объяснена в § 1.6.

В случае радиовещания приемник обычно является сравнительно небольшим и не очень сложным устройством, которое может обслуживать один человек. Однако в системах *дальней связи* радиоприемник превращается уже в сложную радиоприемную систему или *радиоприемный центр*.

В состав радиоприемного центра входит несколько различных обычно удаленных от промышленных источников помех так называемых *вынесенных антенн*; сложных чувствительных радиоприемников; устройств электропитания; систем управления и автоматического контроля работы всего центра. Он представляет собой сложное предприятие, требующее для работы на нем высококвалифицированных специалистов различных областей техники.

Радиопередатчики как систем радиосвязи, так и радиовещания (в особенности) представляют собой не только сложную электронную систему, но и разветвленную систему «цехов» для генерирования высокостабильных несущих колебаний, усиления их мощности (которая может достигать сотен киловатт), студий («источников» сообщений), аппаратных залов (для управления, контроля, записи), энергетических установок для обеспечения питания постоянными токами.

Телевизионные системы также могут быть как вещательными, так и предназначенными для связи между отдельными абонентами. В последнем случае говорят о промышленном применении телевидения (в космосе, под водой, в радиоактивных и химически вредных средах).

Основной принцип передачи изображений по радио хорошо известен. Сначала производят построчное преобразование яркости изображения в электрическое напряжение, затем им модулируют несущее колебание, а в телевизионном приемнике осуществляют обратный процесс преобразования напряжения в яркость свечения экрана приемной трубки.

Для передачи движущихся изображений построчная развертка кадра (всего изображения) производится 25 раз в секунду (аналогично 24 кадрам в секунду, показываемым в кино).

От числа строк развертки зависит четкость изображения. В нашей стране число строк вещательного телевидения $N_{\text{стр}} = 625$, как и в большинстве европейских стран. Однако в США, например, $N_{\text{стр}} = 525$, а во Франции есть система с числом строк, равным 819.

Нетрудно подсчитать, что на передачу одного «элемента» строки требуется время

$$T_{\text{эл}} = 1 / (N_{\text{кад}} N_{\text{стр}} N_{\text{э.стр}}),$$

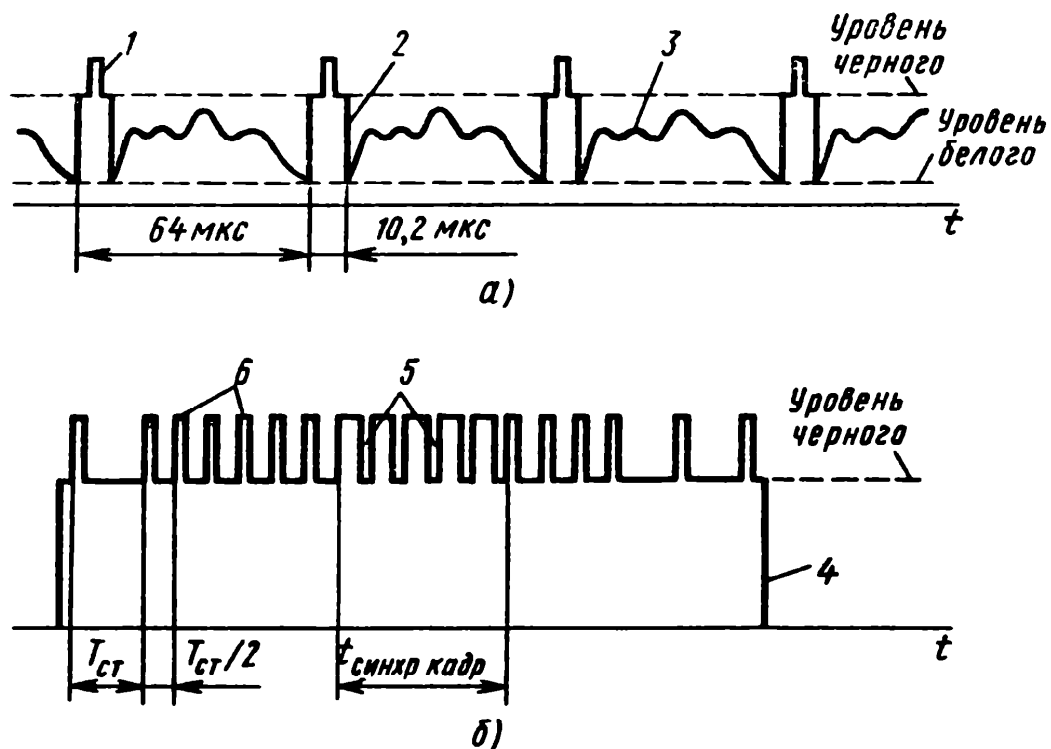


Рис. 1.27. Графики колебания телепередачи

где $N_{э. ст}$ — число элементов в строке; $N_{кад}$ — число кадров в секунду. С учетом того, что ширина кадра обычно равна $4/3$ его высоты, $N_{э. ст}$ равно, очевидно, $4/3 N_{кад}$. Таким образом, для отечественного стандарта получаем $T_{эл} = 0,077$ мкс. Это означает, что высшая частота спектра видеосигнала составляет около 6,5 МГц (так называемая «видеополоса»). Используемая же несущая частота должна быть значительно (обычно более 10 раз) выше. Вот почему высококачественная передача в телевидении возможна только на метровых и более коротких волнах.

Передача изображения (3 на рис. 1.27, а) существенно усложняется по сравнению с передачей, например, речевого сообщения. Ясно, что каждая строка изображения на передатчике (например, десятая) должна вызвать свечение соответствующей строки на приемной трубке (в данном примере, десятой). Иначе говоря, отправление и воспроизведение строк должно производиться *синхронно* и *синфазно* (должны совпадать и начала каждой из строк). Для этого телевизионный радиопередатчик отправляет специальные импульсы строчной и кадровой синхронизации (кадровый синхроимпульс расположен в начале первой строки каждого кадра).

Кроме того, необходимо предусмотреть гашение яркости электронного луча приемной трубки при его возврате от конца строки к началу предшествующей. Для этого надо отправить еще строчные (2) и кадровые (4) гасящие импульсы. В результате полное модулирующее напряжение телепередачи строк имеет

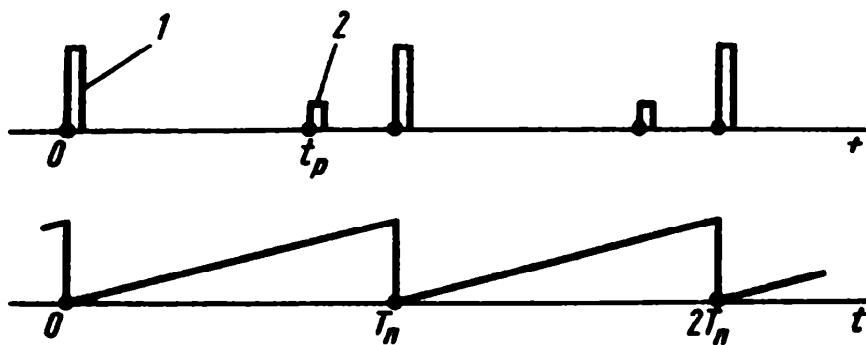


Рис. 1.28. К пояснению принципа радиолокации

сложную форму, упрощенный график которого приведен на рис. 1.27, а.

Картина усложняется и тем, что в целях уменьшения мерцания изображения используют чередующуюся строку: сначала передаются все нечетные, а затем все четные строки изображения (т. е. передают как бы 50 «полукадров» в секунду). Кроме того, строчные (1) импульсы должны передаваться и во время прохождения кадровых импульсов; необходимы еще и так называемые уравновешивающие импульсы (б) (рис. 1.27, б); 5 на рисунке — импульсы «врезки».

Передача звукового сопровождения телевидения производится на отдельной частоте с помощью частотной модуляции.

Радиолокационные системы (РЛС) впервые появились как устройства для обнаружения вражеских самолетов и кораблей в отсутствие видимости. В настоящее время область их применения очень широка. Это наблюдение за облачным покровом в метеорологии, обеспечение «слепой» посадки самолетов, диспетчеризация движения судов, стыковка космических кораблей, ориентировка на местности в отсутствие видимости.

Принцип радиолокации основан на приеме отраженных (2 на рис. 1.28) от наблюдаемых объектов сигналов (аналогично звуковому эхо) и излучаемых 1 передатчиком колебаний. Излучение и прием сигналов (импульсов) производят остронаправленной антенной. При этом по направлению максимального приема можно определить направление на цель, конечно с точностью до ширины диаграммы направленности антенны. Дальность r до цели можно определить, если измерить время t_p , прошедшее от излучения импульса до его приема. Ясно, что если c — скорость распространения сигналов (скорость света), то

$$r = ct_p/2.$$

Принцип измерения времени распространения импульсов до цели и обратно основан на осциллографировании импульсов с помощью колебаний, «развертывающих» луч электронной труб-

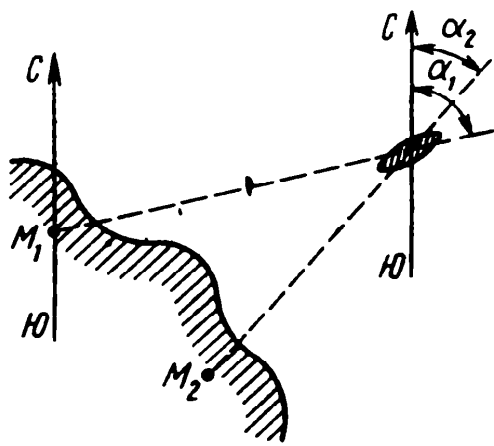


Рис. 1.29. К пояснению принципа радионавигации

ки (рис. 1.28). Однако индикаторы современных радиолокаторов существенно сложнее и могут быть построены на основе различных принципов.

Приемно-измерительная система может одновременно выдавать все необходимые координаты объекта: углы, дальность, скорость и др. Для обработки результатов последовательных наблюдений РЛС часто сопрягают с вычислительными машинами, с выхода которых данные поступают

для дальнейшего использования в системы управления.

РЛС целесообразней всего строить только на волнах, короче метровых, так как в этом случае проще создать узконаправленные антенны, а также обеспечить высокие разрешающую способность и чувствительность систем.

Радионавигационные системы предназначены для определения кораблями и самолетами своего местоположения на земном шаре или в космосе путем приема сигналов от двух (иногда нескольких) радиопередатчиков, координаты которых заранее известны (их указывают на карте). Например, кораблю, изображенному на рис. 1.29, для определения своего положения относительно маяков M_1 и M_2 достаточно определить координаты α_1 и α_2 , из которых он принимает сигналы.

Радиотелеметрические системы предназначены для дистанционного измерения различных физических или технологических величин на удаленном объекте. Таким объектом может быть, например, космический корабль, на котором необходимо измерять давление, температуру среды, биологические параметры космонавтов, параметры, характеризующие состояние различных технических устройств.

Как правило, телеметрическая система бывает многоканальной, т. е. позволяет одновременно следить за изменением многих параметров объекта. Многоканальность может быть осуществлена разными путями, но наиболее распространенными являются способы *временного и частотного разделения*.

В первом случае последовательные временные интервалы («циклы») $T_{ц}$ подразделяют на каналные интервалы $T_{к}$ (рис. 1.30, а). На каждом канальном интервале отправляют сигналы, несущие значение соответствующего параметра (1,2). Через время $T_{ц}$ чередование параметров и соответствующих им интервалов $T_{к}$ повторяют. Число канальных интервалов должно

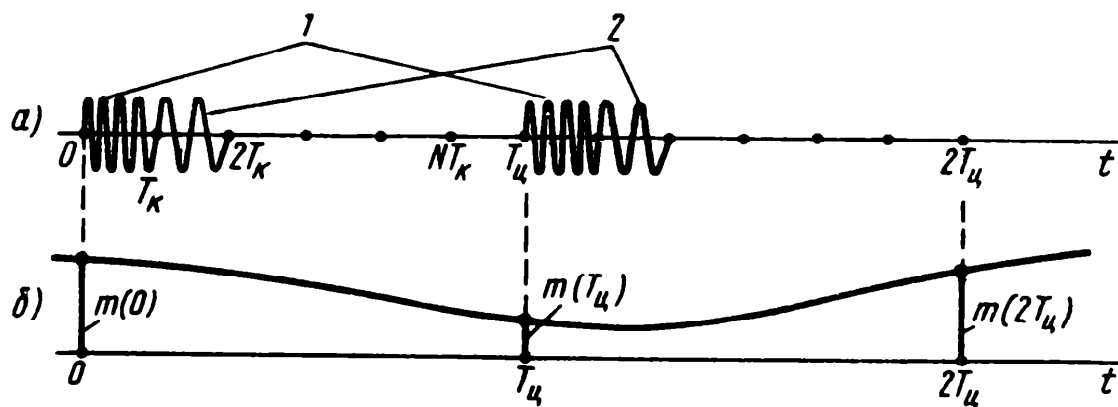


Рис. 1.30. Принцип создания многоканальности при временном уплотнении:

а — отправление импульсов сигнала; б — передаваемая функция $m(t)$

быть немного больше, чем число одновременно контролируемых параметров. Это связано с необходимостью иметь каналы для передачи синхронизирующих сигналов, «упорядочивающих» отсчет интервалов в передатчике и в приемнике канальных сигналов, и каналы для передачи служебных сигналов, управляющих работой аппаратуры.

Сигналы, несущие сообщение о значении измеряемых параметров, становятся, очевидно, импульсными, причем длина сигнала T_c не может быть больше интервала T_k , а период их повторения для каждого параметра равен T_u . Это означает, что вместо передачи текущих значений некоторого параметра $m(t)$ (рис. 1.30, б) передают его мгновенные так называемые выборочные значения $m(kT_u)$. Но не означает ли это, что при передаче теряется информация о законе изменения функции $m(t)$? Оказывается, что нет.

Если период отсчетов (время цикла T_u) не превышает $1/(2F_v)$, где F_v — высшая частота в спектре $m(t)$, т. е. если

$$T_u \leq 1/(2F_v),$$

то возможно точное восстановление всего колебания.

При частотном разделении передатчик генерирует ряд гармонических колебаний различных частот, называемых поднесущими колебаниями, каждое из которых модулируется одним из параметров по амплитуде, фазе или частоте (см. рис. 1.19). Полученная сумма модулированных поднесущих колебаний в свою очередь модулирует несущее колебание, которое и передается по телеметрической радиолнии.

В точке приема несущее колебание детектируется, в результате чего восстанавливается сумма модулированных поднесущих колебаний. Затем их разделяют фильтрами, настроенными на соответствующие частоты и после этого уже выделяют сообще-

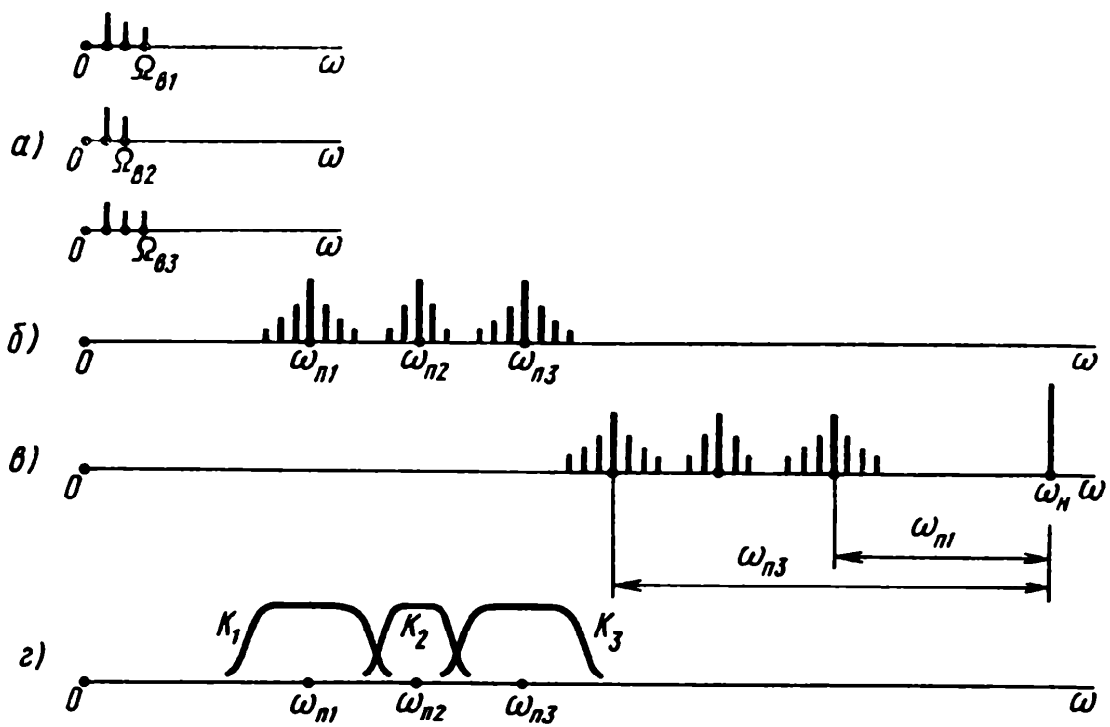


Рис. 1.31. Принцип создания многоканальности при частотном уплотнении — функции изменения параметров на контролируемом объекте.

Такие процессы упрощенно показаны на рис. 1.31 для случая трех параметров. Имеем три различных сообщения с высшими частотами соответственно $\Omega_{в1}$, $\Omega_{в2}$, $\Omega_{в3}$ (рис. 1.31, а). Спектр, полученный при амплитудной модуляции этими сообщениями трех поднесущих колебаний с частотами $\omega_{п1}$, $\omega_{п2}$, $\omega_{п3}$, имеет вид, представленный на рис. 1.31, б. Результат модуляции несущего колебания с частотой ω_n суммой трех модулированных поднесущих колебаний дан на рис. 1.31, в.

Спектр детектированного несущего колебания в точке приема аналогичен модулированному спектру поднесущих колебаний. На рис. 1.31, г показаны передаточные характеристики фильтров K_1 , K_2 , и K_3 . Они настроены на частоты $\omega_{п1}$, $\omega_{п2}$, $\omega_{п3}$ и имеют полосы пропускания, достаточные для выделения спектров поднесущих колебаний.

Выходные колебания этих фильтров порознь детектируются, в результате чего на выходах детекторов имеются колебания, соответствующие передаваемым параметрам (при этом неизбежны искажения, обусловленные помехами в радиолинии).

В зависимости от способа создания многоканальности, видов модуляции, типов сигналов существуют разнообразные телеметрические системы.

Системы радиотелеуправления являются в настоящее время одними из самых распространенных систем, используемых в различных областях техники. Так, весьма интересна по содержанию

и техническим средствам решения задача управления движением космического корабля (КК). Для определенности рассмотрим задачу *коррекции орбиты* околоземного КК.

Напомним, что движение корабля в свободном полете происходит в основном под действием взаимного тяготения масс Земли и космического корабля. Орбита корабля представляет собой эллиптическую кривую (в предположении малости прочих сил, например сопротивления атмосферы), параметры которой и ее положение в пространстве определяются начальными условиями вывода корабля в режим свободного движения.

Таковыми условиями являются расстояние до центра тяготения (или высота над поверхностью Земли), значение и направление вектора скорости в момент выключения двигателей ракеты-носителя. Требуемые значения параметров орбиты не могут быть выполнены точно, поэтому реальная орбита в лучшем случае лишь близка к расчетной. Кроме того, она постепенно изменяется из-за действия ряда дополнительных сил, хотя и малых, но при длительных полетах заметно влияющих на движение околоземного корабля. Следовательно, необходима коррекция орбиты.

Контроль параметров реальной орбиты, выработку команд на ее коррекцию, а также контроль за работой агрегатов и систем, установленных на борту КК, выполняет командно-измерительный комплекс (КИК), схематически изображенный на рис. 1.32. Он объединяет в своем составе Центр управления полетом, а также измерительные пункты, расположенные в различных районах земного шара, в том числе на экспедиционных судах АН СССР. Главный зал Центра с пультами контроля, связи и управления, а также системы отображения различной информации, включая большой телевизионный экран, нередко можно видеть в программах передач Центрального телевидения.

Все системы, входящие в КИК, связаны линиями радиосвязи, обеспечивающими взаимодействие систем КИК и систем корабля, передачу и прием измерительной информации, команд коррекции. Кроме того, корабль поддерживает регулярную дву-

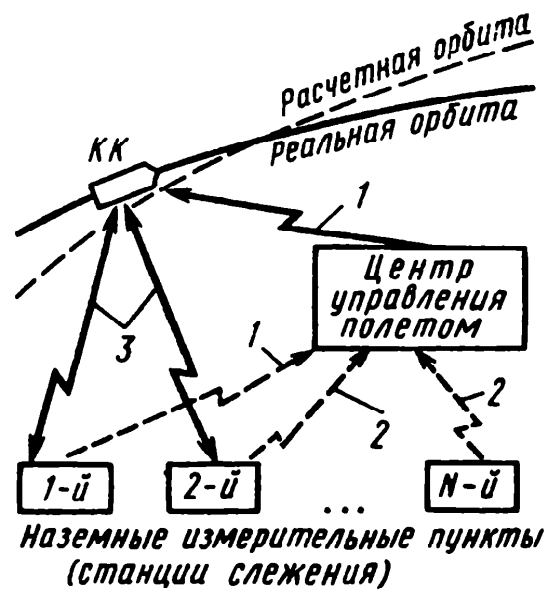


Рис. 1.32. Структурная схема системы радиотелеуправления:

1 — каналы управления; 2 — каналы передачи данных; 3 — каналы контроля параметров

стороннюю видеотелефонную связь с Землей. Экипажи кораблей ведут телерепортажи из космоса.

Наземные измерительные пункты являются сложными автоматизированными системами. Антенны наземных измерительных устройств предварительно наводят в направлении ожидаемого появления КК. Для этого используют точные баллистические расчеты, проводимые в Центре управления, и точную синхронизацию работы измерителей и бортовых систем. За короткое время, пока КК находится в зоне надежной радиовидимости измерительного пункта, должно быть обеспечено его обнаружение и проведено измерение параметров движения. Для этого используют режим работы с активным ответом, при котором зондирующий сигнал радиолокатора ретранслируется (переизлучается) бортовым приемо-передающим устройством корабля. Такой «активный ответчик» на борту необходим для надежной работы наземных измерительных систем при расстояниях, с которыми приходится иметь дело в космосе.

Для повышения точности используют наземные антенны с большой площадью раскрыва, имеющие весьма узкую диаграмму направленности излучения и приема. Прецизионные поворотные устройства таких антенн имеют автоматизированный привод программного наведения и слежения. Данные радиолокационных наблюдений (дальность, углы прихода ответного сигнала, их производные, если необходимо) передают по линиям связи в Центр управления полетом. Там они подвергаются обработке совместно с данными других измерений, анализу и сопоставлению с расчетными. В результате вырабатываются радиокоманды на коррекцию траектории движения.

Сущность команды состоит в передаче в закодированной форме данных об интервале времени, на которое должен быть включен двигатель бортовой корректирующей установки, направлении тяги, создаваемой двигателем, и моменте его включения. После проведения коррекции параметры новой орбиты должны быть вновь измерены и сопоставлены с расчетными.

Нередко целью управления КК является его сближение с орбитальной космической станцией с последующей стыковкой. Осуществить такое сближение с помощью только наземных средств управления не представляется возможным, поскольку требуемая при этом точность управления оказывается очень высокой. Это следует из того, что конечной целью сближения является жесткое механическое соединение корабля и станции с помощью специальных механических захватов. Для этого корабль и станция к моменту стыковки должны находиться в непосредственной близости, быть определенным образом ориенти-

рованными и иметь практически нулевую скорость относительного движения. Поэтому наземные радиоэлектронные средства решают эту задачу частично: они выводят КК в область, где бортовые автоматические радиоэлектронные устройства (либо члены экипажа) берут на себя дальнейшее управление сближением.

Созданные системы управления позволяют с высокой надежностью осуществлять в космосе поиск станции с помощью аппаратуры корабля, проводить измерение параметров их относительного движения и выбатывать необходимые команды на коррекцию закона сближения.

§ 1.10. ПРИМЕР УСТРОЙСТВА РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: СИСТЕМА ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Рассмотрим более подробно принципы построения телевизионной системы, которая, с одной стороны, является широко распространенной, а с другой — типичной для других РТС по сложности взаимодействия отдельных ее частей.

По назначению телевизионные системы (ТВС) могут быть вещательными (черно-белыми или цветными) или связными (наземными, космическими). Их применяют в промышленности, для научных исследований, в медицине, при геологических или подводных наблюдениях, для астронавигации, наблюдений за атмосферой в системе службы погоды.

Принцип передачи двумерного (или трехмерного) изображения был рассмотрен в § 1.9. Теперь обратимся к структурной схеме телевизионного передатчика и происходящим в ней процессам (рис. 1.33).

Передающая трубка за счет построчной развертки превращает освещенность элементов изображения (спроектированного на фоточувствительную пластину трубки — мишень) в электрические сигналы, которые усиливаются видеоусилителем и через сумматор, где к ним добавляются синхронизирующие импульсы, поступают на модулятор и модулируют несущее колебание, поступающее от высокочастотного генератора. После усиления по мощности эти сигналы излучаются через передающую антенну. Для построчной развертки изображения на передающую трубку подают периодическое линейно растущее напряжение от генератора строчной развертки (аналогично обычному осциллографу), и напряжение кадровой развертки, которое периодически вызывает сравнительно медленное движение развертывающего луча сверху вниз, а затем — быстрое перемещение вверх, к первой строке (в данной схеме не рассмотрен процесс черезстрочной развертки).

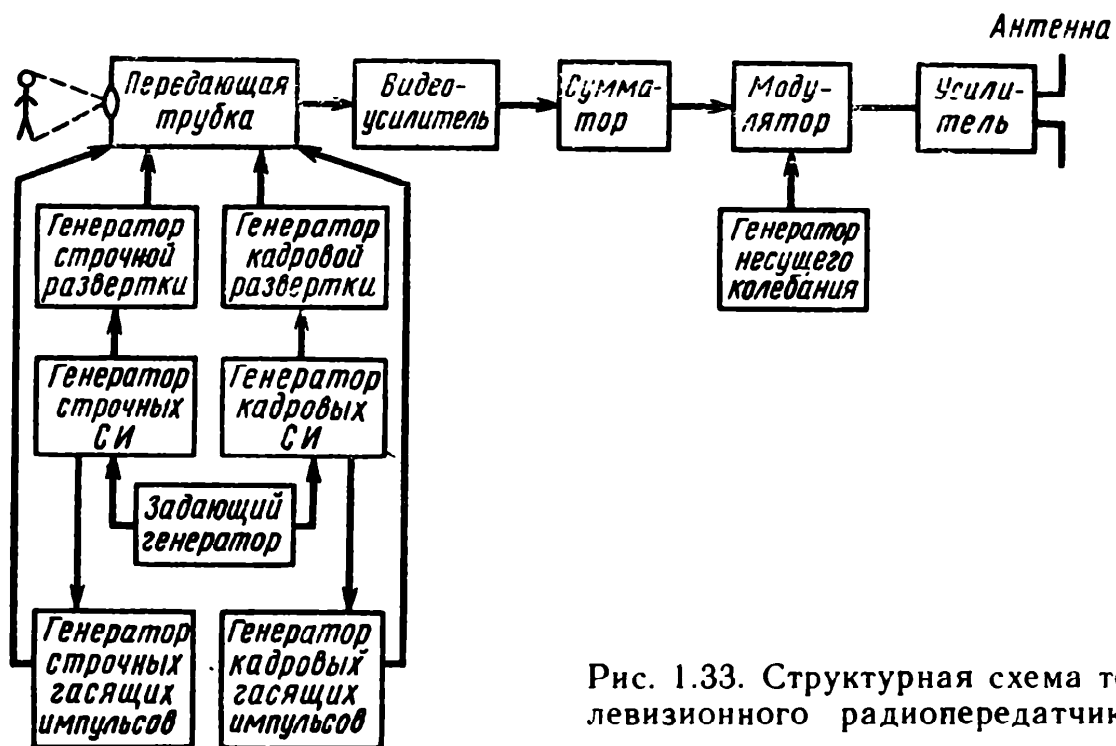


Рис. 1.33. Структурная схема телевизионного радиопередатчика

Генераторы строчных и кадровых синхронизирующих импульсов создают П-образные импульсы, добавляемые к сигналам в сумматоре. Аналогично генерируются гасящие строчные и кадровые импульсы, которые «закрывают» передающую трубку на интервалы возврата лучей от конца предыдущей строки к началу следующей, а также при смене кадров.

Так как синхронизирующие и гасящие импульсы должны быть строго согласованы во времени, то все они создаются путем преобразования колебаний от одного высокостабильного задающего генератора.

На приведенной структурной схеме не изображен канал передачи звукового сопровождения. В целом он аналогичен устройству системы связи, описанной в § 1.7.

В современных вещательных ТВС применяется амплитудная модуляция видеосигналами изображения и частотная модуляция звуковыми сигналами. При этом при амплитудной модуляции полностью излучается лишь верхняя боковая полоса, а нижняя почти полностью подавляется в целях сужения полосы частот. Это нарушение спектра почти не сказывается на качестве изображения.

Наиболее интересным блоком схемы 1.33 является передающая трубка. На рис. 1.34 упрощенно показано устройство одной из наиболее распространенных передающих трубок — суперортика.

Изображение проецируется на полупрозрачный фотокатод 1, эмиттирующий электроны со всей поверхности в соответствии

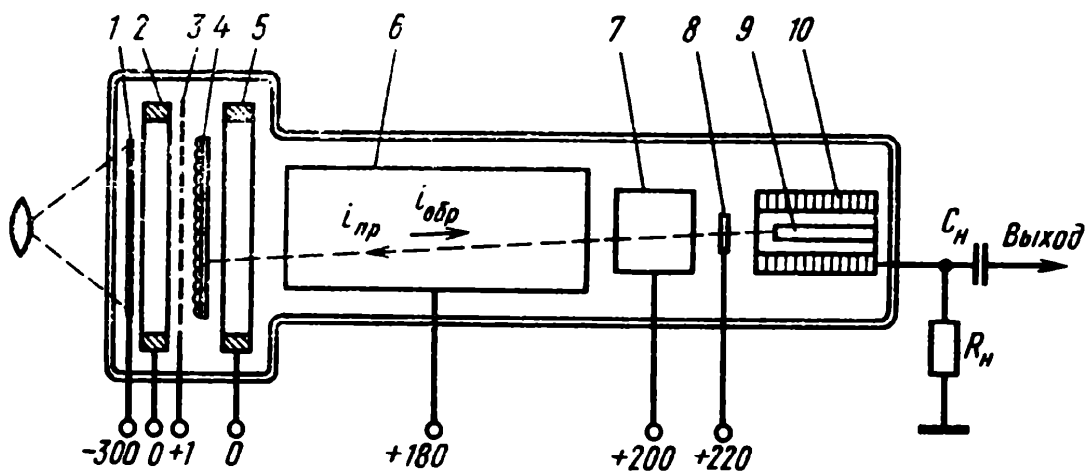


Рис. 1.34. Схема устройства суперотрикона

с яркостью элементов изображения. Эти электроны притягиваются мишенью 4, изготовленной из тонкой (0,1 мм) стекловидной, но проводящей ток пластины. Хотя электроны, вылетавшие из фотокатода, ускоряются специальным электродом 2 и достигают мишени с большой скоростью, они не вызывают вторичной эмиссии электронов в сторону фотокатода благодаря наличию тонкой экранирующей сетки 3, установленной перед мишенью на расстоянии нескольких сотых долей миллиметра. В мишени создается интенсивный вторичный поток электронов в соответствии с «потенциальным рельефом» мишени, т. е. с распределением положительных зарядов и напряжений, повторяющих распределение освещенности фотокатодов. Этот поток электронов приводит к изменению электронного потока в развертывающем луче, создаваемом в электронной пушке 9, фиксируется и развертывается вдоль строк и кадров отклоняющими устройствами (на рисунке не показаны).

Очень важно, чтобы электронный луч не вызывал вторичной эмиссии из мишени. Для этого около мишени электроны резко замедляются с помощью тормозящего электрода 5. Часть электронов, попав на мишень, нейтрализуют ее положительный заряд. Большинство же, отражаясь от нее, как от зеркала, создают обратный ток к электронной пушке вследствие большого положительного напряжения на анодах 6 и 7, 8. Достигая первого анода 8, они с большой скоростью ударяются об него, вызывая вторичную эмиссию электронов. Этот поток электронов усиливается в фотоэлектронном умножителе 10, выход которого присоединен к нагрузочному резистору R_n .

Пройдя путь, согласно структурной схеме телевизионного передатчика видеосигналы излучаются передающей антенной и попадают в телевизионный приемник.

Прецемная антенна

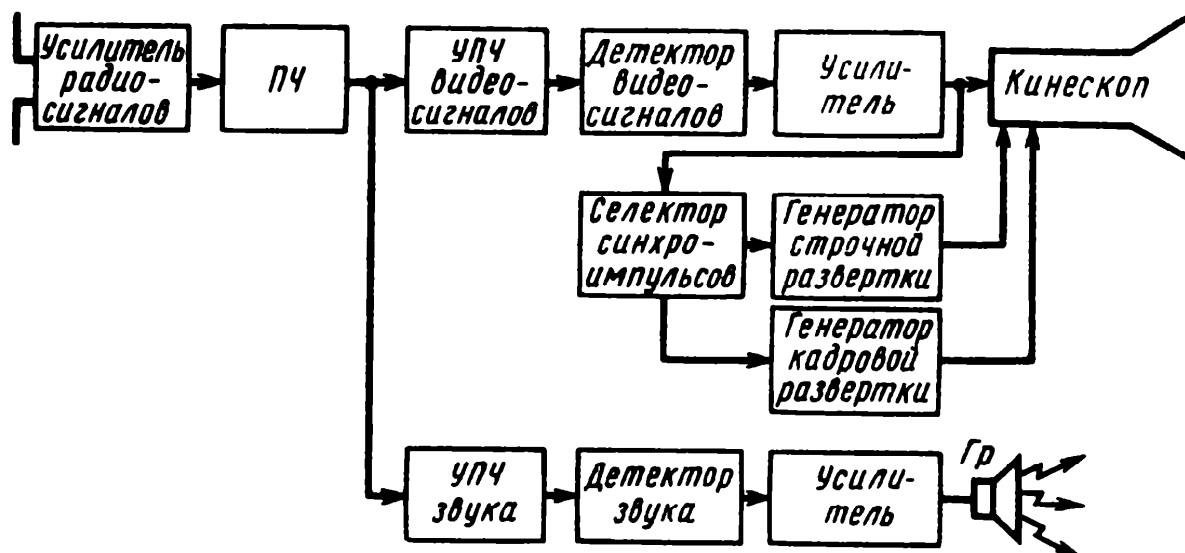


Рис. 1.35. Структурная схема телевизионного радиоприемника

Рассмотрим его упрощенную структурную схему (рис. 1.35). Электромагнитное поле, преобразованное приемной антенной в напряжение, усиливается усилителем радиосигналов общим для сигналов изображения и звука. Так как приемник супергетеродинный, то в преобразователе частоты ПЧ несущие частоты понижаются. Затем происходит разделение сигналов изображения и звука и их усиление в усилителях промежуточной частоты УПЧ видеосигналов и звука соответственно. После детектирования и усиления видеосообщения попадают в кинескоп — приемную телевизионную трубку, а звуковые — в громкоговоритель Гр.

В кинескопе генераторы строчной и кадровой разверток управляют движением электронного луча. Синхронность разверток приемника с развертками передатчика обеспечивается тем, что моменты начала линейно растущих напряжений разверток определяются синхроимпульсами, которые были выделены из сигнала в селекторе синхроимпульсов.

Горящие строчные и кадровые импульсы управляют током луча кинескопа, а генераторы разверток — движением сфокусированного луча, вызывающего свечение экрана трубки. Видеосигналы поступают на управляющий электрод, изменяющий силу тока в луче, пропорционально которой изменяется яркость свечения экрана. Из-за инерционности глаза возникает впечатление непрерывно движущегося изображения.

Здесь были рассмотрены принципы устройства телевизионных передатчика и приемника (12 на рис. 1.36). Однако вся вещательная телевизионная система существенно сложнее. Ее достаточно полная структурная схема приведена на рис. 1.36.

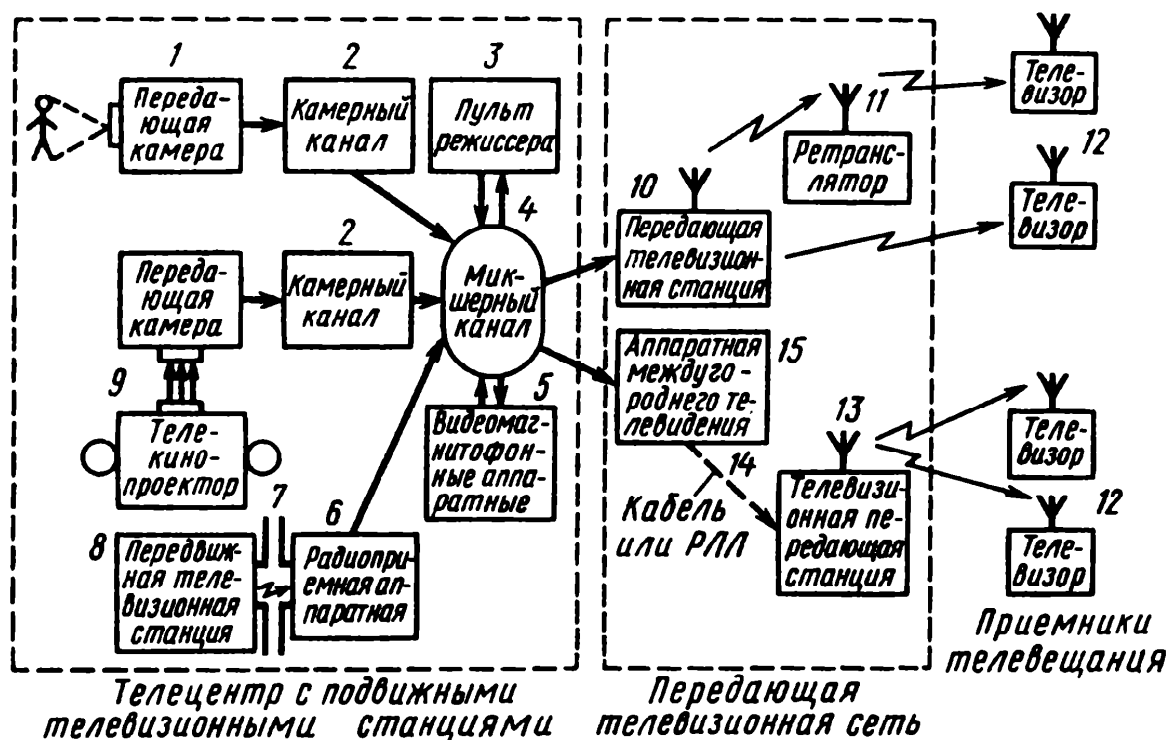


Рис. 1.36. Структурная схема вещательной телевизионной системы

Телевизионные передачи могут производиться из *студии* или *внестудийно*. В первом случае используют студийную камеру 1 или телекиноаппаратуру 9, состоящую из кинопроектора и передающей трубки. На современных телецентрах может быть несколько студий, площадь которых достигает 1000 м². Студии оборудованы соответствующим количеством аппаратуры.

Сигналы изображения (видеосигналы) поступают в камерные каналы 2, где их подготавливают для подачи на модулятор передатчика, а именно сигналам придают необходимые значения, служебные импульсы и т. д. Здесь же производят непрерывный контроль всех параметров полных видеосигналов.

Внестудийные передачи проводят с помощью передвижной телевизионной станции (ПТС) 8. Сигналы изображения поступают на телецентр по ультракоротковолновой линии 7, приемная часть которой 6 располагается на башне телецентра. Видеосигналы от разных передающих трубок («камер») поступают на модулятор передатчика 10 через линейный микшерный канал 4, которым управляют со специального режиссерского пульта 3. При необходимости любой видеосигнал может быть записан на видеомагнитофон 5, а затем снова через микшерный канал подан на модулятор передатчика.

Телевизионный передатчик 10 имеет мощность в несколько десятков киловатт. Однако дальность его действия ограничена расстоянием прямой видимости (вследствие применения метровых волн). Так, передающая антенна станции им. 50-летия Ок-

тября в Москве размещается на известной Останкинской башне высотой в 540 м. Зона ее уверенного приема достигает 150 км.

С помощью цепи сравнительно маломощных (от единиц до сотен ватт) *ретрансляторов 11* дальность передачи может быть увеличена.

Телевизионная сеть предусматривает возможность обмена программами между городами и странами. В этом случае используют аппаратуру междугороднего телевидения *15*, которая подготавливает видеосигналы для передачи по кабельной или радиорелейной междугородней линии *14* на удаленный телевизионный передатчик *13*, аналогичный передатчику *11*. Передачи телевидения могут проводиться также через ретрансляционные системы, расположенные на спутниках связи (типа «Молния»), с помощью радиосистемы «Орбита». Расстояние передачи при этом не ограничено.

Орбита спутника — вытянутый эллипс с апогеем около 40 000 км. При этом вся территория СССР облучается передатчиком-ретранслятором в течение 8—10 ч на каждом витке. Мощность передатчика на борту спутников связи составляет несколько десятков ватт.

С помощью международной системы «Интервидение» (которой пользуются восемь социалистических стран и Финляндия), а также системы «Евровидение» (которой пользуются восемнадцать стран Западной Европы) возможен обмен телепередачами между странами-участниками. Передача программ из стран Америки может производиться через ИСЗ (искусственные спутники Земли) или через систему «Евровидение», связанную с системой «Интервидение».

Диапазон возможностей телевизионной вещательной системы постоянно расширяется. Появилось новое направление в технике телевидения — *космовидение*. Нашей стране здесь принадлежит несомненный приоритет.

Телевизионные приемники *12* являются устройствами в основном индивидуального пользования, имеющими, как правило, коллективные приемные антенны. Телевизионные приемники, выпускаемые в СССР, могут принимать изображения в одном из 12 каналов (несущих частот). Однако применение телевидения этим не ограничивается.

В практике все чаще возникает необходимость в передаче цветного изображения (например, при передаче произведений искусства), т. е. в осуществлении *цветного телевидения*. В его основе лежит так называемая трехкомпонентная теория цветного зрения, согласно которой для создания любого цвета достаточно «смешать» только три: красный, синий и желтый (или

зеленый). На передатчике эти три изображения образуются с помощью соответствующих цветных фильтров. Конструкция приемной трубки усложняется тем, что свечение каждой точки ее поверхности должно состоять из трех элементов, возбуждаемых отдельными электронными лучами.

Телевидение широко применяют в металлургии для управления прокаткой, вакуумной разливкой стали и рядом других горячих процессов; для осмотра внутренних поверхностей нефтяных и газовых скважин; на железнодорожном транспорте для контроля состояния путей и управления маневрированием составов; на атомных электростанциях при дистанционном осмотре устройств с повышенным уровнем радиации; при подводных работах, таких, как подъем затонувших кораблей и осмотр корпусов и т. д.

Все большее распространение в промышленности находят телевизионные автоматы. Они могут анализировать телевизионные сообщения, контролировать необходимые параметры и управлять соответствующими исполнительными механизмами. Телеавтомат способен распознавать образы и, например, сортировать объекты по установленным программам.

Применение телевидения в космических исследованиях способствует расширению их возможностей. Впервые оно было использовано на автоматической межпланетной станции «Луна-3», когда была передана карта невидимой с Земли стороны Луны. Телеустановки были использованы и для изучения поверхности на автоматических станциях «Луна-9» и «Луна-13». Медико-биологические исследования на ИСЗ также проводят с использованием средств телевидения. Наряду с радиолокацией ТВС принадлежит важная роль при взаимном маневрировании ИСЗ и стыковке аппаратов.

Область применения телевизионных установок в медицине простирается от демонстрации для больших аудиторий специалистов уникальных операций до эндоскопии, когда проводят исследования внутренних органов человека (желудок, бронхи), полости рта, ушей. В рентгеноскопии телевизионные системы используют для защиты персонала от рентгеновского облучения и увеличения яркости изображения. Они входят в комплекты оборудования для проведения микроскопических исследований, медицинского контроля и диагностики.

§ 1.11. РАДИОТЕХНИКА СЕГОДНЯ

В наши дни радиотехника достигла такого уровня развития, что при сохранении единства неизбежна высокая степень спе-

циализации. Существуют радиоэлектронные системы, используемые для разных целей (связь, вещание, телевидение и др.), что, в свою очередь, обуславливает определенные требования к конструкции передатчиков, антенн и приемников. Неодинаков и характер передаваемых сообщений, а для этого нужны различные оконечные передающие и приемные приборы.

Однако радиотехническая система, независимо от назначения должна обеспечить ряд преобразований различных сигналов, что и осуществляется за счет соответствующих физических явлений, порождающих нужную «компонентную базу» (вакуумные приборы, полупроводниковые приборы и др.). Каждой элементной базе свойственна своя технология производства не только компонентов, но и всего радиоустройства.

Создаются новые отправители и получатели сообщений, например, электронные цифровые машины, автоматы. В результате радиосистемы настолько усложняются, что обслуживание их часто становится непосильной задачей для человека-оператора. Появляется *радиотехническая автоматика*.

Сложное устройство, содержащее сотни блоков и сотни тысяч отдельных элементов, не может время от времени не выходить из строя. Но как найти неисправность в этом океане отдельных частей? Здесь на помощь радиотехнике приходит техника *автоматического контроля и поиска неисправностей*.

Ныне, желая построить радиоустройство, нельзя просто подобрать детали и начать монтаж. Усложнение процессов в системах совсем по-иному ставит вопрос о роли теории колебаний и теоретических инженерных расчетов. Возникла необходимость перейти к автоматизации проектирования радиоустройств.

Весьма часто одну и ту же операцию и даже систему операций можно построить на основе различных принципов отправления сообщений и их приема. Тогда возникает *задача оптимизации*, т. е. поиска путей решения поставленной задачи наиболее простым и экономичным способом.

Все перечисленное составляет лишь часть сегодняшней радиотехники. Поэтому кратко охарактеризуем ее основные достижения.

Современная компонентная база и технология. Сколь ни сложным является радиоэлектронное устройство, оно должно содержать основные пассивные элементы: резисторы, конденсаторы, индуктивные катушки или элементы, им эквивалентные, а также активные (усиливающие, генерирующие) элементы. Их совокупность составляет компонентную базу радиоэлектронных устройств, зависящую, в частности, от принципов построения и технологии их изготовления.

Эти принципы и технология существенно изменялись с течением времени, особенно по отношению к активным элементам. Сначала это были электровакуумные лампы — диоды, триоды и многоэлектродные лампы. Можно считать, что появление электровакуумных ламп привело к развитию радиоэлектроники как самостоятельной области науки и техники.

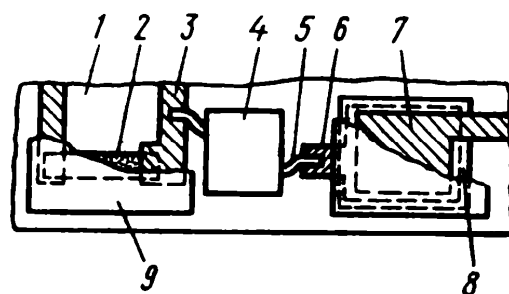


Рис. 1.37. Принцип построения микромодуля

Уже в 50-х годах электронные лампы начали заменять полупроводниковыми диодами и триодами, которые во много раз меньше и легче, чем эквивалентные им радиолампы. Кроме того, они обладают гораздо большей надежностью, менее трудоемки в массовом производстве и дают большую экономию в потреблении электроэнергии. Постепенно полупроводниковые приборы все больше заменяют вакуумные приборы.

Появление полупроводниковых приборов привело к новому методу построения радиоаппаратуры из функционально законченных устройств — микромодулей. Микромодули изготавливали на основе малогабаритных диодов и триодов, конденсаторов и т. д. с помощью так называемого печатного монтажа.

Принцип построения микромодуля показан на рис. 1.37. На диэлектрическую подложку 1 методом напыления нанесен резистор 2, присоединенный к контактным площадкам 3. Конденсатор образован последовательным наложением обкладок 6 и 7 и диэлектрика 8. Миниатюрный диод 4 присоединен контактами 5 к соответствующим элементам схемы. Элементы закрыты защитным слоем 9. Площадь подложки составляет около 1 см².

В 60-е годы появились интегральные микросхемы (ИМС), изготавливаемые на монокристаллических пластинах, на которых тонкими и точными химико-технологическими методами создают множество различных элементов цепей, образующих в целом почти законченное функциональное устройство — генератор, усилитель или даже целый радиоприемник (некоторые детали, например индуктивные катушки или конденсаторы больших размеров, располагают вне ИМС навесным способом).

Конструкцию интегральной микросхемы (ИМС) можно увидеть только под микроскопом. На рис. 1.38, а приведен пример электрической цепи ИМС, являющейся универсальным усилителем, а на рис. 1.38, б — внешний вид нескольких типичных ИМС. Собственно интегральная микросхема как технологическая конструкция обведена штриховой линией (1 — вход). Ее харак-

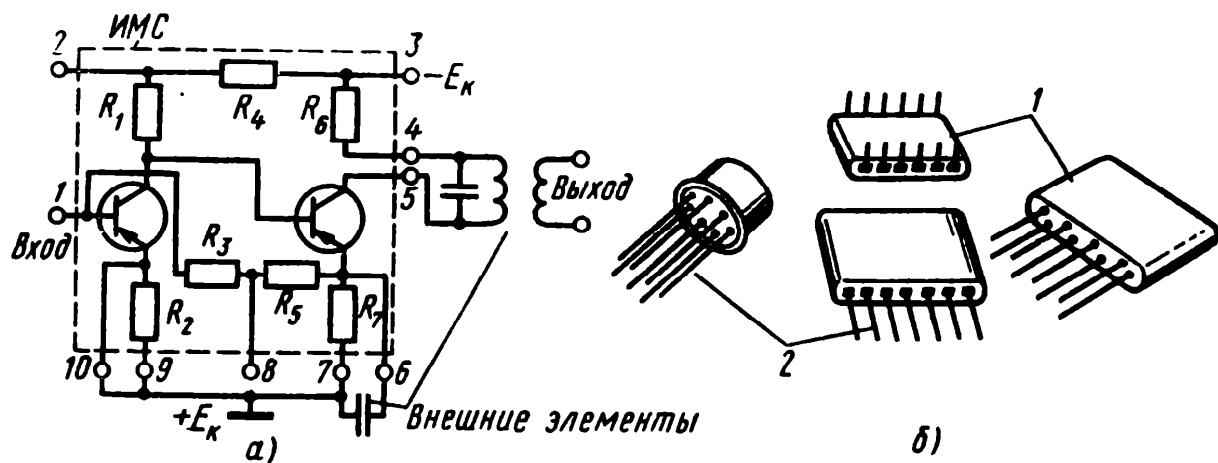


Рис. 1.38. ИМС усилителя (а) и внешний вид ИМС (б)

терной особенностью является *схемная избыточность*, позволяющая путем соединения по-разному внешних выводов ИМС образовывать различные устройства. Так, на рис. 1.38, а показан присоединенный к выводам 4 и 5 внешний колебательный контур. При этом усилитель приобретает резонансные свойства. Выводы 7 — 6 и 9 — 10 можно закоротить или присоединить между ними конденсатор (как показано на рис. 1.38, а). Это дает возможность изменять характеристики усилителя. Для аналогичных целей используют и другие выводы (3, 8) ИМС.

Конструктивное оформление ИМС стандартизовано. Отдельные ИМС удобно размещать на диэлектрических платах и легко припаивать к проводящим полосам заранее нанесенным на платы методом печатного монтажа.

Дальнейшим развитием интегральных микросхем являются *большие интегральные (БИС) или функциональные схемы* — твердотельные устройства особо высокой «плотности», где отдельные элементы объема кристалла совмещают несколько функций. Плотность монтажа (расположения) в БИС достигает в настоящее время миллиона элементов в 1 см^3 .

Появление ИМС, и особенно БИС, по-новому ставит вопрос о распределении работы по созданию радиоустройств между создателями схем и конструкторами законченных радиосистем.

Расширение диапазона используемых частот. До 40-х годов использовали в основном километровые, гектометровые, декаметровые и лишь отчасти метровые волны. В последующие 20 лет было освоено генерирование, усиление и использование метровых, дециметровых и сантиметровых волн (до частоты 30 ГГц). В эти годы были построены телевизионные системы в метровом диапазоне, РЛС на метровых, дециметровых и отчасти сантиметровых волнах, радиорелейные линии, навигационные и радиолокационные системы.

Тенденция расширения диапазонов рабочих волн в обоих направлениях продолжается и в настоящее время. С 60-х годов началось широкое освоение миллиметровых, субмиллиметровых, световых, а также декакилометровых и более длинных волн. Длинные волны оказались незаменимыми при создании очень устойчивых линий связи, например, для системы передачи точного времени, а также для связи на большие расстояния под водой, например, между подводными лодками.

Освоение новых диапазонов, особенно более высокочастотных, требует изыскания способов генерирования с высокой стабильностью и мощностью соответствующих колебаний, их модуляции и детектирования, каналирования, излучения.

Важным достижением науки является создание *квантовых приборов*, основанных на использовании квантовой (дискретной) природы энергии, в частности электромагнитного излучения. Это привело к созданию мазеров — устройств генерирования и усиления частот сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн, и лазеров — генераторов когерентного света, излучающих световой поток в очень узком телесном угле и в очень узком диапазоне частот (монокроматическое излучение). Использование лазеров открывает принципиально новые возможности в области связи.

Развитие общей теории радиосистем. Успешное развитие радиотехники в первые годы ее существования было обусловлено в значительной степени отдельными открытиями и изобретениями. Так, были найдены колебательный контур и явление резонанса как средство выделения требуемых сигналов; виды модуляции как способ отправления сообщений; виды детектирования; средства борьбы с помехами. Если существовало несколько способов выполнения одной и той же операции, например детектирования, то путем сопоставления выбирался лучший, причем понятие «лучший» носило полуинтуитивный характер.

Значительным достижением современной радиотехники является создание общей теории построения наилучших (оптимальных) систем. Эту теорию называют еще *статистической*, так как она основана на вероятностном подходе, вследствие принципиальной необходимости учета помех. (Если бы помех не было, то можно было бы построить систему передачи на любое расстояние при сколь угодно малых мощностях: достаточно было бы только создать в точке приема необходимое усиление.)

Важной особенностью этой теории является то, что понятию «наилучшая система» придан строгий количественный смысл путем введения понятия критерия или целевой функции

системы. Такими критериями могут быть, например, минимальная вероятность ошибок при заданных мощностях или наименьшая стоимость системы при заданных значениях ошибок.

Общая теория в ряде случаев позволяет строго математически и однозначно (путем так называемого *математического синтеза*) найти алгоритм работы системы и ее структурную схему. Полученная такими средствами система называется *оптимальной*.

Интересным является то, что многие изобретения инженеров, полученные на ранних этапах развития радиотехники, оказались близкими к оптимальным. Однако в ряде случаев общая теория указывает такие пути создания радиосистем с нужными свойствами, которые ранее не были известны.

Дискретная (цифровая) обработка сигналов. В течение длительного периода развития радиотехники инженеры рассматривали непрерывные и дискретные сообщения (например, речевые и буквенные), как принципиально различные. Для них строились разные устройства отправления, приема и последующей обработки. Сигналы же, несущие те или иные сообщения, считались непрерывными функциями времени, они генерировались, усиливались или детектировались с помощью устройств непрерывного действия — ламповых или полупроводниковых устройств.

В настоящее время все большее развитие находит *дискретная* (или *цифровая*) *обработка* сообщений и сигналов. Установлено, что любое непрерывное колебание $u(t)$ (рис. 1.39, а) (сообщения, сигналы, помехи) может быть заменено последовательностью чисел. В простейшем случае этой последовательностью могут быть мгновенные выборочные значения, как это представлено на рис. 1.39, б. Такая замена называется *дискретизацией по времени*. Однако можно пойти дальше и заменить каждое выборочное значение (которое может принять любое значение в некоторых пределах) ближайшим целым числом выбранных квантов Δ (рис. 1.39, в). Эта операция называется *квантованием по уровню*. Квантованные по уровню дискретные числа можно выразить в двоичной системе счисления и представить последовательностью импульсов и пауз или положительных и отрицательных импульсов, как показано на рис. 1.39, г. Так, квантованное значение $u(0)$ равно 6 (рис. 1.39, в). Поэтому его можно представить в двоичной системе как 00110, чему соответствует последовательность отрицательных (соответствующих 0) и положительных (соответствующих 1) импульсов. Аналогично, например, $u(5) = 20$, а в двоичной системе — 10100. Полученная таким образом последовательность импульсов есть *цифровое бинарное представление* непрерывного колебания.

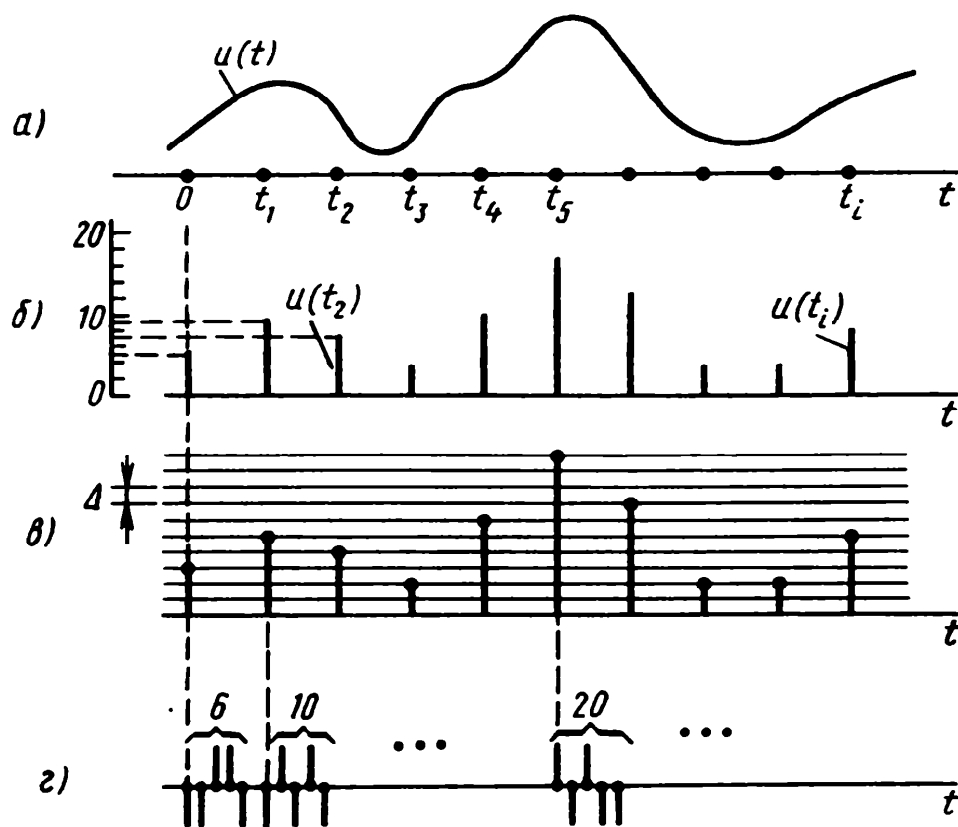


Рис. 1.39. К пояснению преобразования непрерывного сообщения в дискретное

Все перечисленные операции технически выполнимы электронными устройствами. Следовательно, между дискретными и непрерывными сигналами нет принципиальной разницы. Цифровые системы обработки сигналов создают удивительное единообразие при построении средств их передачи. Линии и устройства становятся универсальными, более надежными, простыми в производстве и эксплуатации.

Применение ЦВМ в радиосистемах

Цифровые вычислительные машины являются устройствами, производящими основные арифметические операции с дискретными числами. Однако очень высокая скорость выполнения этих операций (доля мкс), наличие устройств памяти (записи и считывания чисел), устройств автоматического управления операциями с помощью заранее составленных последовательностей команд (программ) позволяют использовать ЦВМ для осуществления любых операций, которые можно выразить в математической форме и представить в числах.

Важнейшей особенностью ЦВМ является ее универсальность, т. е. возможность применять данную ЦВМ для выполнения широкого круга операций. Для этого необходимо лишь изменять программу.

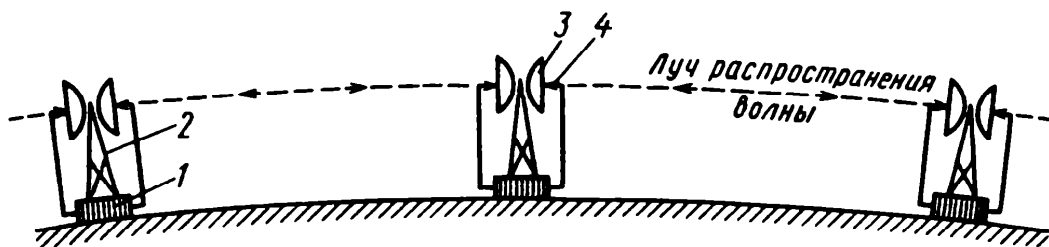


Рис. 1.40. Принцип построения радиорелейной линии:
1 — помещение с аппаратурой; 2 — мачта; 3 — рефлектор; 4 — облучатель

Использование ЦВМ открывает теоретически неограниченные возможности обработки радиотехнических сигналов после представления их в цифровой форме. В ряде случаев целесообразно использование специализированных ЦВМ, построенных так, чтобы выполнить лишь определенный класс операций, встречающихся именно при обработке радиосигналов.

Наиболее часто ЦВМ используют в таких наиболее сложных системах, как радиолокационные и радионавигационные.

Новые виды радиосвязи и построение единой системы связи. Хотя радиосвязь «через эфир» за счет отражения коротких волн от ионосферы нельзя назвать новым видом связи, однако в настоящее время она переживает новое возрождение. Исследователи и инженеры научились в значительной степени устранять основной недостаток этого вида связи — случайные замирания радиосигналов. Современные *адаптивные* радиоприемники разделяют отдельные лучи, отраженные от различных участков ионосферы, и, складывая их в одной фазе, фактически ликвидируют явления интерференции и взаимного гашения.

Еще более устойчива связь через радиорелейные линии (РРЛ), в которых осуществляется переизлучение сантиметровых волн с помощью цепочки приемо-передатчиков или ретрансляторов (рис. 1.40). Обычно они строятся в гигагерцевом диапазоне длин волн.

Современная технология позволяет создать надежные, малогабаритные и экономичные в эксплуатации системы. Целая сеть радиорелейных станций покрывает нашу страну. По одному «стволу» (диапазону частот с уплотнением сигналов) можно передать тысячи речевых сообщений или несколько телевизионных. К 1980 г. протяженность РРЛ у нас превысила 70 тыс. км. Телевизионное вещание через них обслуживает территорию с населением более 170 млн. человек.

Конкурировать с радиолinéйнными линиями могут радиоволноводы — полые металлические трубы, через которые ВЧ-колебания могут распространяться с весьма малыми потерями. Через

стандартизованный в СССР волновод диаметром 5 см можно в принципе передать до 250 тыс. телефонных или десятки телевизионных сообщений. Волноводные системы связи находятся в процессе опытной эксплуатации.

Еще большие возможности открываются при использовании *световодов* — волноводов оптического диапазона частот. Наиболее перспективным вариантом световода является прозрачная нить из специальных сортов диэлектриков высокого качества. Световые волны распространяются вдоль нити согласно явлению полного внутреннего отражения, известному из курса физики. «Информационная емкость» светового диапазона огромна. Практическое использование его пока еще затруднено из-за необходимости совершенствовать лазеры, разработку и изготовление усилителей, модуляторов, демодуляторов волн этого диапазона.

В настоящее время широко распространена связь через *ретрансляторы сигналов, установленные на ИСЗ*, причем при стационарном спутнике, движущемся синхронно с вращением Земли, возможна длительная ретрансляция сигналов вещания и телевидения на большие территории. Существуют системы с многостанционным доступом, когда много независимых наземных станций могут одновременно вести связь через ИСЗ, используя незначительные мощности.

В нашей стране создается *Единая автоматизированная система связи (ЕАСС)*, в которой различные линии связи (радиолинии, РРЛ, волноводы и др.) будут объединены так, что переход сообщений из одних в другие будет происходить незаметно для корреспондентов ЕАСС. В новой системе будет предусмотрена возможность передачи любого вида сообщений.

Глава 2 НЕМНОГО ИСТОРИИ

Гордиться славою своих предков не только можно, но и должно; не уважать оной есть постыдное малодушие.

А. С. Пушкин

§ 2.1. ЗАЧЕМ ИНЖЕНЕРУ ЗНАТЬ ИСТОРИЮ

Словом «инженер» называют (в буквальном его смысле) человека, умеющего делать машины, в нашем случае — радиотехнические устройства.

Процесс производства машин, несомненно, требует знания теории соответствующей области, умения рассчитывать, конструировать, производить технологические операции. Однако поможет ли конкретному инженеру спроектировать конкретный радиоприемник знание истории, имен изобретателей колебательного контура, полупроводниковых приборов или супергетеродинного принципа радиоприемника?

Положительный ответ («Да, поможет») на поставленный вопрос, несомненно, будет наивным и неверным, так как неверной является сама постановка такого вопроса.

История не сводится к простому перечню дат и имен исследователей, внесших в науку и технику тот или иной вклад. *История состоит в изучении прошлого в целях прогнозирования и планирования будущего.* Это следует из того, что наука и техника являются не конгломератом, а упорядоченной и взаимосвязанной цепью процессов и явлений. Опыт поколений показывает, что для полноценной ориентации в настоящем и тем более для предвидения будущего необходимо знать прошлое.

Глубокое знание истории науки и техники помогает устанавливать диалектическую связь между явлениями, помогает их осмысливанию. Показывая, как одно вытекало из другого, сколько времени потребовалось исследователям и изобретателям на достижение очередного этапа знаний, история науки и техники учит прогнозировать их развитие с учетом реальных возможностей. Так, анализ прошлого, несомненно, указывает на постоянное возрастание темпа развития. Это означает, что для приобретения «заданного приращения» знаний от года к году требуется все меньший период времени. Линейное прогнозирование всегда будет отставать от жизни.

История техники показывает, что явления повторяются, как правило, на более высоком уровне. С одной стороны, глубокое знание прошлого может подсказать новые еще не использованные возможности и ускорить прогресс. С другой стороны, это знание истории избавляет человечество от многократного повторения того, что уже было испробовано и не дало положительных результатов.

История науки и техники позволяет правильно оценивать роль коллектива и личности в прогрессе общества. В частности, она показывает, что лишь тесное сотрудничество ученых и инженеров всех стран мира может принести значительные плоды. Вспомним, что само «изобретение радио», в широком его смысле, является плодом труда выдающихся ученых — англичан (Д. К. Максвелл, М. Фарадей), немца (Г. Герц), француза (Э. Бранли) и русского (А. С. Попов). А сколько исследователей разных стран участвовали в доведении знаний до уровня, когда это изобретение стало возможным!

Наконец, история науки и техники является частью человеческой цивилизации. Советский радиоинженер должен уметь соотнести историю своей области знаний с общей историей культуры своей страны. Он должен, например, четко представлять себе, каков был уровень знаний о связи во времена М. В. Ломоносова, мог ли А. С. Пушкин послать телеграмму, когда появился телефон, радиовещание, телевидение.

Сведения о развитии радиотехники в рамках курса «Введение в специальность» не могут быть достаточными для решения всех проблем по установлению взаимосвязи прошлого и будущего. Более подробно эти вопросы освещены в ряде источников [1, 2, 3, 4].

§ 2.2. ВОЗНИКНОВЕНИЕ НАУКИ ОБ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

До начала XVII в. знания об электричестве и магнетизме в «цивилизованной» Европе представляли собой невероятную для нас смесь фактов и домыслов. Так, люди полагали, что днем магнит притягивает сильнее, чем ночью, и верили, что прием магнита внутрь в виде порошка продлевает жизнь.

В 1600 г. В. Гильберт опубликовал результаты своих 18-летних наблюдений, положив тем самым начало понятию об *эксперименте* как основе исследования. Это произошло за 11 лет до появления известного «Нового органа» Ф. Бэкона, которого считают родоначальником современного индуктивного метода в науке.

Это было время, когда в городах Европы сжигали «ведьм», а в университетах царила созерцательная наука Аристотеля и устраивались диспуты на тему о том, сколько чертей может уместиться на острие иглы.

Шли годы. О. Герике, изобретатель электрической машины, П. Мушенброк, создатель Лейденской банки, Б. Франклин, автор первой теории статического электричества, исследователь молнии как электрического разряда и изобретатель громоотвода, М. В. Ломоносов, автор труда «Теория электричества, математически выведенная автором М. Ломоносовым», Л. Гальвани, первооткрыватель «животного электричества», А. Вольта, изобретатель «вольтова столба» — первого источника длительного постоянного тока, и их многие менее известные соратники развили науку об электричестве и магнетизме до первых опытов по электросвязи. На это потребовалось около 200 лет.

Большой вклад в развитие науки об электричестве внес русский ученый, академик В. В. Петров, построивший первую самую большую батарею — из 2000 пар элементов и открывший электрическую дугу.

Первые опыты по электросвязи с помощью статического электричества некоторые историки относят к 1795 г., когда испанский исследователь Ф. Сальва построил линию связи в 50 км из множества проводов, которые заряжались и разряжались в зависимости от передаваемой буквы. До этого и много лет спустя в Европе существовал только оптический механический телеграф. И. П. Кулибин, выдающийся русский изобретатель, в 1794 г. усовершенствовал механизм оптического телеграфа. В 1839 г. была открыта длиннейшая в мире телеграфная линия между Петербургом и Варшавой (1200 км).

Через несколько лет тот же Ф. Сальва (1802) и немецкий ученый С. Т. Земмеринг (1809) предложили передавать буквы по проводам на основе химического воздействия тока на жидкость. «Приемное устройство» С. Т. Земмеринга содержало 35 колб с водой и соответствующее число проводов. Позднее число проводов было уменьшено до 8.

В 1820 г. датчанин Г. Х. Эрстед обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку. В этом же году А. Ампер предложил создать телеграфную систему с числом стрелок, равным числу проводов.

Первая практически применимая система телеграфирования по проводам была предложена в России П. Л. Шиллингом в 1828 г. Он использовал код: разные буквы передавались импульсами тока по проводам, а прием осуществлялся комбинациями отклонения магнитных стрелок в разные стороны в зави-

симости от полярности тока. Он использовал только восемь проводов (а позже даже два). П. Л. Шиллинг был знаком с А. С. Пушкиным, и, по мнению некоторых исследователей, именно под влиянием его работ были сочинены известные строки, начинающиеся словами: «О сколько нам открытий чудных готовит просвещенья дух».

Однако подлинную революцию в деле электросвязи по проводам произвели русский ученый Б. С. Якоби и американец С. Морзе (вовсе не профессионал-инженер, а известный в свое время художник), создавшие независимо друг от друга пишущий телеграф. Последний изобрел используемый и ныне код («азбуку Морзе») и применил ключ для замыкания тока при передаче. В приемнике был использован электромагнит, прижимавший перо к ленте, которая двигалась от пружинного механизма. Морзе в 1835 г. был в России и, по рассказам очевидцев, «расстроился», увидев сходство русских аппаратов со своим изобретением.

Первая в США действующая линия связи (Вашингтон — Балтимор, 63 км) была построена в 1844 г. Линия для связи Петербурга с Царским Селом протяженностью в 25 км вошла в строй в 1843 г.

В 1850 г. Б. С. Якоби создал первый буквопечатающий аппарат, усовершенствованный в 1855 г. американским изобретателем Д. Юзом. В нем комбинации импульсов тока («кодовые комбинации») управляли поворотом типового колеса, на окружности которого были расположены литеры, печатавшие текст телеграмм на прижимавшейся к ним бумажной ленте.

За телеграфом последовал проводной телефон. Принцип телефонной трубки был предложен профессором физиологии органов речи и физики Бостонского университета А. Г. Беллом в 1876 г., а в 1877 г. им был получен патент на микрофон. Уже в 1878 г. компания «Белл телефон» открыла первую в мире телефонную станцию с коммутатором.

Дело «телефона по проводам», а затем и видеотелефона начало лавинообразно развиваться. Однако его будущий конкурент и возможный победитель уже созрел в умах блестящих ученых. Близилось время М. Фарадея и Д. К. Максвелла.

§ 2.3. ОТ ЗАРИ РАДИОТЕХНИКИ ДО ВЕЛИКИХ УРАВНЕНИЙ

Радиотехника зародилась благодаря открытию единства и взаимосвязи электричества (электрического поля) и магнетизма (магнитного поля).

Воздействие электрического тока на магнитную стрелку «случайно» открыл Х. Эрстед во время опытов по изучению *теплого* действия тока (нагреванию провода). Точнее, отклонение магнитной стрелки случайно лежавшего на столе компаса при замыкании тока в проводнике заметил во время лекции студент, имя которого не вошло в историю. Это произошло 15 февраля 1820 г.

Эрстед не смог дать объяснения этому явлению наблюдательному студенту. Позже он подробно описал его в форме «памфлета» на латинском языке, однако толкование наблюденного эффекта было неверным. Памфлет дошел до Ампера.

Уже немолодой профессор (45 лет), награжденный орденом Почетного Легиона за работы в области математики, оптики, химии, член множества комиссий (и даже комиссии по изданию классиков литературы) Ампер увидел повторение опытов Эрстеда на заседании Французской академии, где его демонстрировал испанский исследователь Араго.

Опыты потрясли Ампера. В течение нескольких недель он сам поставил серию экспериментов и с помощью «вольтова столба» нашел законы взаимодействия двух проводников с токами, катушек с токами между собой и с магнитами. Катушки, обтекаемые токами, оказались не отличимыми по взаимодействию от магнитов. Состояние здоровья и ряд других обстоятельств не позволили Амперу продвинуться дальше.

Только с научным подвигом М. В. Ломоносова можно сравнить вклад в науку об электромагнетизме М. Фарадея. Он родился в 1791 г. в Лондоне, в семье кузнеца. В возрасте 21 года он решил посвятить себя науке. Ему удалось поступить на должность лаборанта одной из лабораторий Королевского института с помощью ученого Г. Дэви, взявшего Фарадея к себе в лабораторию.

Сначала Фарадей занимался химией и вскоре, к удивлению Дэви, опубликовал первую научную статью. В памятном 1820 г. Дэви и Фарадей повторили опыт Эрстеда (о работах Ампера они узнали позднее). Затем Фарадей сам неоднократно проводит известные опыты, показавшие, что проводник, по которому течет ток, движется в магнитном поле (явление, лежащее в основе современного электродвигателя). Он много работает и публикует ряд статей. В 1824 г., через 11 лет после начала научной деятельности, Фарадея избирают членом Лондонского королевского общества, а в 1825 г. по рекомендации Г. Дэви он становится директором Королевского института. В 1831 г. Фарадей открыл закон электромагнитной индукции — явление появления э. д. с. в проводах под действием переменного магнитного поля.

Следует заметить, что Ампер был близок к этому открытию, однако не обнаружил эффекта, так как не обратил внимания на то, что важно *не присутствие* магнитного поля, а его *изменение*. Затем Фарадей создает модель электромагнитного генератора. Это было очередное торжество идеи взаимосвязи и обратимости физических явлений. Недаром М. В. Ломоносов говорил, что природа проста и не роскошествует излишними причинами.

Фарадей оставил огромное печатное наследство. Его «Дневник» наблюдений содержит 8 томов. Интересно отметить, что он мало пользовался математикой и вместо формул привлекал графики полей и ныне широко применяемые «силовые линии». М. Фарадей умер в 1865 г.

В год (1831) и почти в день открытия закона электромагнитной индукции Фарадеем, в богатой семье адвоката родился Д. К. Максвелл. Его отец интересовался техникой, ставил физические опыты и даже опубликовал несколько научных статей.

Д. К. Максвелл уже к 19 годам становится автором ряда научно-технических предложений, в том числе известного способа вычерчивания эллипса с помощью двух иголок и нити (эта работа была выполнена им еще в возрасте 15 лет), автором теоремы упругости («теоремы Максвелла»). В 1850 г. Максвелл окончил Эдинбургский университет, а в 1854 г. и университет в Кембридже. В двадцатилетнем возрасте Максвелл впервые прочел книгу Фарадея «Экспериментальные исследования по электричеству», которая произвела на него неизгладимое впечатление.

За свою не очень долгую жизнь (он умер в 1879 г.) Максвелл плодотворно занимался различными областями науки: от исследования устойчивости колец Сатурна до цветной фотографии и бытовой химии. Он успешно читал лекции студентам и публиковал сатирические стихотворения (за подписью « dp/dt »).

Однако его величайшим вкладом в науку является создание математической теории поля, из которой были выделены четыре ныне всемирно известных *уравнения Максвелла*. В сочинениях самого Максвелла этих уравнений двенадцать и они «разбросаны» по нескольким разделам. Позднее выдающиеся ученые Г. Герц и О. Хевисайд упорядочили изложение Максвелла, изъяли уравнения, которые были следствием других, и представили основные в почти современной форме. В уравнениях Максвелла сконцентрированы фундаментальные физические закономерности, обобщающие все известное в электромагнетизме до сих пор.

Величайшим следствием уравнений Максвелла было предсказание существования *электромагнитного поля излучения* (ЭПИ). Из уравнений следует, что вокруг переменного во времени тока

создается переменное магнитное поле, способное создать в соседнем элементе пространства электрическое поле, которое за счет особого «тока смещения» создает новое магнитное поле и т. д. Поле излучения распространяется со скоростью света.

Свою теорию Максвелл изложил в «Трактате об электричестве и магнетизме», который вышел в свет в 1873 г. В 1938 г. в архивах Лондонского королевского общества был вскрыт пакет, оставленный в 1832 г. М. Фарадеем с указанием хранить до неопределенного времени. Среди прочего в тексте, обнаруженном в пакете через 106 лет, были прочитаны фразы о том, что на распространение магнитного действия требуется время, которое, как полагал Фарадей, окажется очень незначительным. Он писал также, что электрическая индукция распространяется точно таким же образом и что распространение магнитных сил похоже на колебания взволнованной водной поверхности. Так, свойственным ему языком (без формул) Фарадей предсказал существование поля излучения за 35 лет до Максвелла.

§ 2.4. ЭКСПЕРИМЕНТ — КРИТЕРИЙ ИСТИНЫ

Предсказания Максвелла относительно возможности создания ЭПИ не произвели особого впечатления на современников, может быть потому, что не многие могли понять его теорию, изложенную к тому же далеко не в лучшей форме (том «Трактата об электричестве и магнетизме» содержал около 1000 с., где чередовались обобщения, рассуждения и полемика). Многие ученые просто не поверили в это предсказание: мало ли что можно «вывести» на бумаге!

Значительную роль в утверждении теории Максвелла сыграли опыты П. Н. Лебедева по изучению давления света на поверхность. Существование этого давления следовало из электромагнитной природы света, предсказанной Максвеллом. Опыты косвенно подтвердили теорию Максвелла.

Однако великая историческая миссия непосредственного экспериментального обнаружения ЭПИ принадлежит немецкому физику Г. Р. Герцу.

Г. Герц родился за несколько лет до появления теории Максвелла в обеспеченной семье сенатора. Он обладал слабым здоровьем, но учился блестяще. Специальное образование он начал в Мюнхенской высшей технической школе, но вскоре перешел в Берлинский университет, где сразу же занялся научной работой в физической лаборатории. Его руководителем стал Г. Гельмгольц, являвшийся противником теории Максвелла, в частности теории о конечной скорости распространения поля излучения.

Вскоре Герц приступает к работе над докторской диссертацией по исследованию вращения тел в магнитном поле. Специальным постановлением ему было разрешено защищать диссертацию до окончания обучения в университете. Защита прошла с таким успехом, что в виде особого исключения Герцу была присуждена докторская степень «с отличием».

Исследования по электромагнитному полю Герц начал около 1886 г. 5 декабря этого же года он обнаружил, что создание искры (разряда) между двумя шарами, замкнутыми контуром из проволоки, приводило к появлению искры в другом аналогичном контуре, расположенном на значительном расстоянии (сначала около 1,5 м). Перенос второго контура в соседнюю комнату не изменил результата, только искра стала слабее.

Сначала Герц подумал, что он обнаружил новое явление — «волны Герца». Поскольку мировоззрение Герца формировалось под влиянием Гельмгольца, то, приступая к опытам, он вовсе не стремился подтвердить теорию Максвелла. Как истинный ученый он провел ряд сложных и трудоемких экспериментов. Оказалось, что волны преломляются призмой (сделанной из асфальта), скорость их распространения (грубо измеренная косвенным методом) близка к скорости света, они отражаются (как и световые) от металлических поверхностей, обладают свойством поляризации.

«Волны Герца» полностью совпали с предсказанными Максвеллом электромагнитными волнами, и Герц признал это.

Опубликование результатов опытов Герца вызвало не только научную «бурю» среди ученых — сторонников и противников теории Максвелла, но и породило ряд весьма очевидных предложений о создании системы передачи без проводов. Герц, ссылаясь на «медленность» электрических колебаний в *телефонных* проводах (в чем он был прав), сказал одному из изобретателей, что если бы он был в состоянии построить вогнутые зеркала (т. е. антенны) размером с материи, то можно было бы создать поле излучения. Но практически ничего нельзя сделать: с обычными зеркалами не будет обнаружено ни малейшего действия. Как видно из этого утверждения, *идея модуляции* высокочастотных колебаний медленными сообщениями еще не созрела.

Г. Герц умер знаменитым в возрасте всего 37 лет. Он был награжден, по-видимому, всеми медалями и другими знаками отличия, которые уже существовали для ученых. Но Герц был не только экспериментатором. Именно он совместно с О. Хевисайдом придал «сумбурным» двенадцати уравнениям Максвелла их современный вид.

Выдающийся ученый своего времени, английский физик, член Лондонского королевского общества Хевисайд независимо от Герца пришел к тем же результатам в отношении уравнений Максвелла. Работая в области физики, О. Хевисайд за 15 лет до А. Эйнштейна вывел известную формулу $E = mc^2$. В области математики он заложил основы теории расчета переходных процессов («метод Хевисайда»), явился одним из создателей операционного исчисления. В области связи Хевисайд был изобретателем средств повышения дальности действия проводного телеграфа и телефона. В 1902 г. он одновременно с А. Э. Кеннелли указал на существование ионизированного слоя атмосферы, действующего как отражающая среда для электромагнитных волн. Труды скромного и талантливому ученого обогатили владельцев многих фирм и компаний, но не его самого. Он умер в бедности в возрасте 75 лет.

§ 2.5. А. С. ПОПОВ — ИЗОБРЕТАТЕЛЬ РАДИО

Александр Степанович Попов родился в поселке Турьинские Рудники (ныне г. Краснотурьинск), в семье священника, в 1859 г. Попытки родителей направить сына по «духовной линии» не увенчались успехом. Он поступает на физико-математический факультет Петербургского университета. В первые годы своей самостоятельной жизни А. С. Попов одновременно с учебной работой репетитором, переводчиком, гидом на Электротехнической выставке, регулировщиком напряжения динамомашин, заведует электростанцией на ярмарке в Нижнем Новгороде.

В 1882 г. он оканчивает университет, успешно защищает диссертацию, и его приглашают остаться при университете для подготовки к профессорскому званию. Однако в 1883 г. А. С. Попов поступает преподавателем в Минный офицерский класс в Кронштадте, являющийся в то время единственным в России высшим учебным заведением, в котором электротехника занимала видное место.

Уже в 1888 г. А. С. Попов мечтает изобрести такой прибор, который заменил бы «электромагнитное чувство». Проведя большое количество опытов совместно со своим помощником П. Н. Рыбкиным, А. С. Попов построил первый в мире радиоприемник, который продемонстрировал на заседании Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г. При этом он использовал усовершенствованный им же когерер («сцепливатель») французского исследователя Э. Бранли и англичанина О. Лоджа. Это была стеклянная трубка с металлическим порошком, который слипался под действием электрических разрядов и начинал проводить ток.

Приемник А. С. Попова (названный им сначала «грозоотметчиком») содержал все основные части радиоприемника: антенну, колебательную цепь, детектор, регистрирующее устройство. Гениальной догадкой явилось использование обратной связи — автоматического механического встряхивания когерера с целью восстановления его чувствительности к появлению поля.

24 марта 1896 г. А. С. Попов продемонстрировал впервые в истории человечества передачу электрическими сигналами без проводов осмысленного текста, состоящего из двух слов («Генрих Герц») на расстояние всего 250 м. В 1899 г. дальность действия приемника была доведена до 45 км, в 1900 г. радиосвязь впервые была использована на практике при снятии с камней у о. Гогланд броненосца «Генерал-адмирал Апраксин» и при спасении рыбаков, унесенных в море. В 1901 г. дальность связи достигла 150 км.

На Международной выставке 1900 г. в Париже приемник А. С. Попова был удостоен Большой золотой медали. В 1901 г. А. С. Попов был назначен профессором Электротехнического института, а в 1905 г. он был выбран его директором. В 1906 г. А. С. Попов стал председателем Русского физико-химического общества, на котором 10 лет назад он выступал с историческим сообщением.

Однако рождение радиосвязи не обошлось без курьезов. Через несколько месяцев после заседания в марте 1896 г. приоритет А. С. Попова начал оспаривать итальянец Гульемо Маркони, который в середине 1897 г. получил английский патент (свидетельство) на «способ сигнализации на расстоянии». Изобретение же А. С. Попова, к сожалению, запатентовано не было.

Будучи сам человеком далеко не бедным, Маркони склонил английских предпринимателей и банкиров к созданию компании по использованию его изобретения. Миллионные средства компании Маркони позволили обогнать Россию по размаху дела и дальности радиосвязи. Развив огромную организаторскую деятельность, Маркони восемьдесят (!) раз путешествовал из Европы в Америку. Как не вспомнить, что на первом ходатайстве А. С. Попова о выделении денег на опыты (около 300 руб.) морской министр написал: «На такую химеру денег отпускать не разрешаю» *.

* Это не единственный случай подобного отношения к изобретателям в дореволюционной России. Так, в 1794 г. И. П. Кулибин изобрел оптический (механический) телеграф, превышающий возможности аналогичного телеграфа К. Шаппа. Однако царское правительство не обратило внимания на изобретение И. П. Кулибина и закупило установку К. Шаппа.

А. С. Попов встречался с Маркони в июле 1902 г., когда итальянский корабль «Карло Альберто» прибыл в Кронштадт. На борту находился Маркони со своей аппаратурой. А. С. Попов осмотрел радиорубку, дружелюбно беседовал с Маркони, но ничего нового для себя не увидел.

А. С. Попов умер от кровоизлияния в мозг 13 января 1906 г. после бурной «беседы» с министром внутренних дел Дурново. Ему многое не нравилось в деятельности А. С. Попова, в частности, его отношение к «студенческим беспорядкам», имевшим место в 1905 г.

«Патентодержатель» Г. Маркони в 1909 г. стал даже лауреатом Нобелевской премии. С его именем связаны и крупные политико-экономические скандалы, в которые оказались втянутыми правительственные деятели. Но благодаря его предприимчивости была спасена часть пассажиров погибшего «Титаника». Став миллионером, он забыл о своей провозглашенной «гуманной миссии» первых лет и сразу принял политику Б. Муссолини. Г. Маркони умер в 1937 г., пережив изобретателя радио А. С. Попова более чем на 30 лет.

Царское правительство России не сумело оценить величие изобретения своего соотечественника А. С. Попова и на «химеру» по-прежнему денег отпускали очень мало. Первые образцы радиостанций, основанных на русском изобретении, в конце века заказывали во Франции на фирме «Дюкрете». А. С. Попов к 1902 г. имел в Кронштадте лишь небольшую мастерскую по изготовлению радиостанций. В 1903 г. Морское министерство, решив, наконец, радиофицировать русские корабли, заключило соглашение с немецкой фирмой «Телефункен».

В 1906 г. в России один за другим начали открываться филиалы иностранных фирм «Телефункен», «Эриксон» и даже английской фирмы Маркони (правда, под названием «Русское общество беспроволочных телеграфов и телефонов»).

Лишь в 1913 г. был организован радиотелеграфный завод с радиолaborаторией под руководством М. В. Шулейкина, а в 1914 г. в Москве и Петрограде были построены первые искровые радиостанции. Позднее они появились в Николаеве, Ташкенте, Чите и некоторых других городах.

§ 2.6. РАДИОТЕХНИКА ПОСЛЕ ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Коренной перелом в отношении к радиотехнике в России произошел после Октября 1917 г. В. И. Ленин первым использовал радиосвязь (еще телеграфную!) для обращения 22 нояб-

ря 1917 г. «Радио всем, всем полковым, дивизионным, корпусным, армейским и другим комитетам, всем солдатам революционной армии и матросам революционного флота».

19 июля 1918 г. был издан декрет Совнаркома о централизации радиотехнического дела. Был создан Радиотехнический совет при Наркомате почт и телеграфов, взяты под контроль все радиотехнические заводы и мастерские, организована передача по радио Постановлений Правительства. 2 декабря 1918 г. В. И. Ленин подписал Положение «О Нижегородской радиолaborатории». Научным руководителем ее был назначен М. А. Бонч-Бруевич. Сюда пришли В. К. Лебединский, Д. А. Рожанский, В. В. Татаринov, В. П. Вологдин, А. Ф. Шорин.

По поручению В. И. Ленина сотрудники Нижегородской лаборатории уже в 1922 г. построили в Москве первую в мире радиовещательную станцию мощностью в 12 кВт, а 17 сентября 1922 г. состоялась первая передача радиоконцерта. К 1924 г. радиовещательные станции появились в Ленинграде, Горьком. К концу первой пятилетки их было уже 57, к концу второй — 90.

В 1925 г. была создана генераторная лампа мощностью 100 кВт и целая серия менее мощных. На первой Всесоюзной радиовыставке 1925 г. в Политехническом музее эта лампа была названа именем Ленина. Еще в 1924 г. именем В. И. Ленина была названа Нижегородская радиолaborатория.

Нижегородская радиолaborатория им. В. И. Ленина была дважды награждена орденом Трудового Красного Знамени. В 1928 г. было принято решение о переводе ее в Ленинград, где была организована Центральная радиолaborатория (ЦРЛ).

В 1933 г. вступила в строй мощнейшая в мире 500-киловаттная длинноволновая радиостанция, а в 1938 г. — ряд коротковолновых станций, в том числе всемирно известная РВ-96 (120 кВт) (первая коротковолновая телеграфная линия Москва — Ташкент была построена еще в 1926 г.). В годы Великой Отечественной войны была сооружена самая мощная в мире длинноволновая радиостанция, работающая и в настоящее время.

Начала бурно развиваться и техника радиоприема. Существенную роль в этом сыграл переход от кристаллических детекторов, заменивших когереры еще в 1908 г., к электронным лампам. Хотя вакуумный триод был изобретен гораздо раньше, конкурентноспособным он стал лишь в 1915—1917 гг.

Первые отечественные радиолампы для передатчиков и приемников были изготовлены в годы блокады Советской России в Нижегородской радиолaborатории и на Казанской базе радио-

информирований, а позднее в лабораториях Одесского радио-завода, завода «Светлана» в Ленинграде.

В 1923—1928 гг. происходит «борьба» между различными способами радиоприема, в которой к 1931—1932 гг. полностью победил ныне основной супергетеродинный метод. Его внедрению способствовало появление двухсеточных, а затем и многосеточных ламп, с помощью которых преобразователь частоты, местный генератор и усилитель удалось строить на одной лампе.

К 1935 г. появились радиолампы в металлическом корпусе, а затем малогабаритные стеклянные лампы, усовершенствованные варианты которых можно встретить в радиоаппаратуре (особенно в телевизорах) и сегодня.

В 1936—1937 гг. успешно развиваются новые методы модуляции и детектирования. Наряду с ранее освоенной амплитудной модуляцией предложена частотная модуляция. При этом существенный вклад в развитие теории и техники внесли многие отечественные ученые.

В 1937 г. В. А. Котельников теоретически и экспериментально показал возможность радиосвязи на одной боковой полосе при амплитудной модуляции. Он же стал автором известной во всем мире теории потенциальной помехоустойчивости, явившейся основой для развития современной теории анализа и синтеза оптимальных по помехоустойчивости радиосистем.

Малострочные телевизионные передачи начались в нашей стране в 1931 г. (идея передачи изображений путем построчной развертки была известна с 1878 г., а первые лабораторные опыты инженера П. Нипкова по передаче изображений по проводам относятся еще к 1884 г.). Это была электромеханическая система, в которой развертка изображения производилась с помощью диска со сделанными по спирали отверстиями, очеркивавшими строки изображения, яркость которых определяла ток через фотоэлемент. Регулярное вещание велось с частотой строк, равной 30 при 12,5 кадрах в секунду. Передачи велись на длинных волнах.

Электронное телевидение, «наследником» которого является современное, появилось в СССР в 1938 г. Идею о телевизионной приемной трубке высказал профессор Петербургского университета Б. Л. Розинг еще в 1907 г. Однако лишь к 1932 г. С. И. Катаеву с группой сотрудников удалось создать приемную телевизионную трубку с фокусировкой луча магнитным полем, что сразу повысило качество изображения. Несколько позже благодаря работам С. И. Катаева, П. В. Шмакова, Д. А. Чернышева, П. В. Тимофеева появились передающие телевизионные трубки. Это были иконоскопы с мозаикой, идею которых

предложили независимо друг от друга Г. В. Брауде (в СССР) и доктор Зворыкин (в США).

Первые телепередачи (с октября 1938 г.) шли по одной программе на волне 6 м, а первые телевизоры имели размер экрана всего 14×18 см. Число строк было равно 243 при 25 кадрах в секунду, передатчик работал по 4—5 часов 6 дней в неделю. У первых телевизоров собирались зрители и смотрели на новое «чудо».

Хотя радиотехника появилась как техника связи (телеграфной или телефонной), но вскоре были обнаружены другие области ее применения.

Возможность использования радиосигналов для определения местоположения отражающих объектов (кораблей, самолетов) высказал еще А. С. Попов, наблюдая ослабление сигналов при радиосвязи между двумя кораблями, когда трассу радиосигналов пересекал третий. Основоположниками отечественной радиолокации явились П. К. Ощепков, Б. К. Шембель, Ю. Б. Кобзарев (ныне академик).

Исторически первым способом ориентировки с помощью радиоволн была радионавигация, а именно радиопеленгация. Сначала пеленгационная аппаратура незначительно отличалась от связной. Пеленгационные станции располагались на Земле в известных всем кораблям и самолетам точках. Будучи оснащенными устройствами остронаправленного приема (рамочными антеннами, гониометрами), эти станции по запросу определяли положение объекта по двум значениям направлений приема сигналов корабля или самолета.

Ясно, что пара наземных пеленгаторов могла одновременно обслуживать лишь один корабль или самолет. Позднее был изобретен метод зональных маяков, состоящих из четырех антенн, включаемых поочередно на передачу сигналов. Питание антенн осуществлялось так, чтобы создать разные диаграммы направленности для каждой пары антенн. В результате характер сигналов позволял определить направление, из которого они исходят. Два таких маяка давали возможность одновременно большому числу самолетов ориентироваться в пространстве.

В дальнейшем системы радиопеленгации были значительно усовершенствованы и на их основе построены «автопилоты», системы «слепой» посадки самолетов в тумане и многие другие устройства.

Значительный вклад в эту область радиотехники, как и в развитие теории нелинейных преобразований колебаний, внес академик А. И. Берг. Наряду с чисто «эфирными» радиолиниями возникли радиорелейные, волноводные и др.

Электронные лампы уступили место полупроводниковой технике. Появилась микроэлектроника, квантовая электроника. Линии связи проникли в космос и в глубины Мирового Океана. Однако это уже не история, а наше время.

§ 2.7. ПИОНЕРЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИОТЕХНИКИ

В феврале тяжелого 1920 г. В. И. Ленин получил письмо от руководителя Нижегородской радиолaborатории М. А. Бонч-Бруевича с кратким отчетом о ее работе и о встречающихся трудностях. В ответ на это письмо В. И. Ленин написал пророческие слова: «Газета без бумаги и «без расстояний», которую Вы создаете, будет великим делом» *.

Михаил Александрович Бонч-Бруевич родился в 1888 г. в г. Орле, в семье техника. В 1909 г. он окончил в Петербурге Инженерное училище, из стен которого вышли такие выдающиеся деятели русской науки и культуры, как Ф. М. Достоевский, Д. В. Григорович, П. Н. Яблочков, И. М. Сеченов. В 1914 г. М. А. Бонч-Бруевич заканчивает Петербургскую офицерскую электротехническую школу, дававшую диплом инженера-электрика.

Начавшаяся мировая война заставила царское правительство пересмотреть свое отношение к радиосвязи. М. А. Бонч-Бруевича направляют на вновь построенную Тверскую радиостанцию, работавшую как и другие, телеграфными сигналами. Здесь он организовал электровакуумную мастерскую, где впервые в России наладил производство радиоламп, названных «катодными реле». Здесь же был разработан первый ламповый радиоприемник незатухающих колебаний.

После подписания в Совнарком 2 декабря 1918 г. «Положения о радиолaborатории с мастерской Народного комиссариата почт и телеграфов» М. А. Бонч-Бруевич с группой сотрудников перешел на работу в Нижегородскую радиолaborаторию и был ее научным руководителем целое десятилетие. Здесь были созданы усовершенствованные приемные лампы, теория их расчета, мощные лампы с водяным охлаждением, позволившие увеличить их мощность от единиц ватт до 2 кВт. Вскоре был построен первый радиотелефонный передатчик для прямой связи с Москвой.

* Ленин В. И. Полное собр. соч., т. 51, с. 130.

С именем М. А. Бонч-Бруевича связано освоение КВ-диапазона волн. До 1922 г. этот диапазон считался непригодным для радиосвязи: наличие кольцевой «зоны молчания» на расстояниях до десятков километров от передатчика привело первых исследователей к ошибочному мнению об очень быстром исчезновении поля с расстоянием.

М. А. Бонч-Бруевич автор 60 изобретений и более 100 печатных работ, в том числе монографий «Короткие волны» (1932), «Распространение электромагнитной энергии» (1934). Он предсказал явление нелинейности ионосферы, выдвинул идею метода генерирования сантиметровых волн («магнетронный генератор»), принцип построения остронаправленных антенн («щелевые антенны»).

С 1921 г. М. А. Бонч-Бруевич являлся профессором Нижегородского университета, а с 1922 г. — профессором МВТУ. В 1931 г. его избирают членом-корреспондентом АН СССР, в 1934 г. ему присваивают ученую степень доктора технических наук.

М. А. Бонч-Бруевич был не только выдающимся исследователем и инженером, но и человеком высокой культуры. Он хорошо играл на фортепьяно, интересовался литературой и живописью.

Умер М. А. Бонч-Бруевич 7 мая 1940 г. в возрасте 52 лет.

Михаил Васильевич Шулейкин явился организатором второго крупнейшего центра отечественной радиотехники — Петербургского (Ленинградского).

М. В. Шулейкин родился в 1884 г., получил высшее образование в Петербурге и в 1910 г. поступил на работу во вновь организованное «Радиотелеграфное депо» Морского ведомства. В 1913 г. оно было преобразовано в первый в России радиотелеграфный завод, где М. В. Шулейкин возглавил радиолaborаторию.

М. В. Шулейкин внес большой вклад в радиотехнику. Еще в годы мировой войны он разгадал секрет незатухающих колебаний, на которых работали вражеские радиопередатчики. В 1916 г. он опубликовал в «Известиях по минному делу» работу по радиотелефонированию, где получил математическое выражение для амплитудно-модулированных сигналов и указал на существование боковых полос. В 1920 г. он разработал основы теории распространения радиоволн с учетом ионосферы и создал основы инженерного расчета длинноволновых антенн и заземления.

М. В. Шулейкин явился основателем радиоинженерной специальности в вузах нашей страны. Он организовал соответ-

ствующий факультет в МВТУ, преподавал в Военной электротехнической академии, Институте народного хозяйства, Ленинградском электротехническом институте связи, читая курсы по теоретической радиотехнике, радиосетям, распространению радиоволн, теории колебаний. В изложении ряда вопросов в современных учебниках можно обнаружить методические подходы, заложенные М. В. Шулейкиным.

Кругозор и знания М. В. Шулейкина были огромны. Его авторитет в области радиотехники был непререкаемым. За выдающиеся достижения в области науки и техники М. В. Шулейкин был избран академиком.

Он воспитал многочисленных учеников и последователей, среди которых Имант Георгиевич Фрейман, создавший в годы империалистической блокады один из первых курсов радиотехники, Александр Николаевич Казанцев — основатель современной школы по распространению радиоволн, Борис Алексеевич Введенский — автор фундаментальных исследований в области распространения волн, исследования их дифракции, радиоволноводов.

В декабре 1918 г. в радиотехническом совете Наркомата почт и телеграфов состоялось совещание по вопросу о сплошной радиофикации Советской России (его вел первый председатель совета А. М. Николаев), на котором среди ведущих специалистов присутствовали М. В. Шулейкин и В. П. Вологдин.

Валентин Петрович Вологдин родился в 1881 г. в бывшей Пермской губернии, в семье инженера горного дела. Окончил Петербургский технологический институт в 1907 г. В годы первой русской революции был революционером-подпольщиком, работал с Я. М. Свердловым, несколько раз был арестован, сослан, ранен во время разгона демонстрации.

Имя В. П. Вологодина неразрывно связано с развитием электромашинной высокочастотной техники в нашей стране. Его высокочастотные электромашинные генераторы являлись надежным источником радиоколебаний на начальном этапе развития радиотехники. Первая машина высокой частоты мощностью 2 кВт при частоте 60 кГц (длина волны 5000 м) была построена в 1912 г.

После Октябрьской революции В. П. Вологдин стал одним из научных руководителей Нижегородской радиолaborатории. Здесь под его руководством были построены электромашинны на 50, а затем 150 кВт. В 1925 г. последняя была установлена на Октябрьской радиостанции в Москве и обеспечивала связь с городами Европы и Америки.

Под руководством В. П. Вологодина были созданы и первые ртутные выпрямители мощностью до 10 кВт при напряжении 3 500 В для питания ламповых радиопередатчиков, а также другие выпрямительные устройства. До этого момента для электропитания передатчиков использовали очень громоздкие и неудобные аккумуляторные батареи.

В Центральной радиолоборатории в Ленинграде и на посту директора Треста по радио В. П. Вологдин продолжал свою разностороннюю деятельность. С 30-х годов он занимался применением высокочастотной техники в электротермии, при плавке металлов, поверхностной закалке стали.

В 1939 г. В. П. Вологодина избрали членом-корреспондентом АН СССР. В 1943 и 1952 гг. он был удостоен Государственных премий СССР, в 1944 г. награжден орденом Ленина, в 1948 г. Президиум АН СССР присудил ему первую золотую медаль им. А. С. Попова.

В. П. Вологодин умер 23 апреля 1953 г.

«Советским Эдисоном» называют иногда выдающегося изобретателя и инженера в области радиосвязи и звукозаписи А. Ф. Шорина.

Александр Федорович Шорин родился в 1890 г. и провел детство в Петрограде. Он блестяще учился в начальной школе и железнодорожном училище. В 1919 г. он окончил Петроградский электротехнический институт с золотой медалью.

Свою деятельность в области радиотехники А. Ф. Шорин начал в качестве помощника начальника, а затем начальника мощнейшей в то время (1917) Царскосельской радиостанции для международных связей. Здесь он выполнил впервые в стране исследования и разработку ламповых усилителей, пеленгаторов, буквопечатающей аппаратуры.

В 1919 г., в возрасте 29 лет, А. Ф. Шорина назначают директором Нижегородской радиолоборатории. Отсюда в 1922 г. была впервые организована двусторонняя буквопечатающая связь с Москвой (в Москву — по проводам, обратно — через Ходынскую радиостанцию в Москве). В 1923 г. эта связь стала дуплексной, т. е. позволявшей одновременно вести передачу в обоих направлениях.

А. Ф. Шорин является автором большого числа изобретений, реализованных в действующей аппаратуре. Им разработаны первые приборы для управления по радио; созданы первые громкоговорители, установленные в Кремлевском зале к XII съезду партии, а к 1 мая 1923 г. на многих площадях и улицах Москвы; раз-

работаны многоканальные установки тонального телеграфирования (частотного разделения сигналов).

А. Ф. Шорин, с 1927 г. работая в Центральной радиолaborатории проводной связи, изобрел ныне широко используемый старт-стопный метод телеграфирования, позволяющий начинать передачу в любой момент времени, а не обязательно синхронно с задающим генератором посылок.

Им также разработан метод записи звука на киноленту (1928). В 1929 г. в Ленинграде открылся первый в стране звуковой кинотеатр.

В 1934 г. А. Ф. Шорин награжден орденом Ленина. В 1941 г. он стал лауреатом Государственной премии СССР. А. Ф. Шорин был выдающимся изобретателем, исследователем и педагогом. Он умер в 1941 г. в возрасте 51 года.

Зачинателем полупроводниковой техники, давшей ныне обильные плоды, был **Олег Владимирович Лосев**, открывший в 1922 г. в возрасте 19 лет усилительные свойства кристаллического детектора из окиси цинка со стальным острием.

Он также был одним из первых сотрудников Нижегородской лаборатории, куда пришел в 1920 г. по приглашению В. К. Лебединского.

О. В. Лосев изучал выпрямляющие свойства детекторов и искал пути их усовершенствования. При этом он обнаружил на их вольт-амперных характеристиках «падающие» участки (увеличение тока при уменьшении напряжения), физически означавшие возможность отдачи энергии. Присоединение колебательного контура к диоду с таким участком привело к генерированию колебаний.

Исследуя способность полупроводников генерировать электрические колебания высокой частоты, О. В. Лосев сконструировал в 1923 г. безламповый высокочувствительный радиоприемник — кристадин. Американский журнал «Рейдионьюз» писал об изобретении Лосева как о сенсационном. В то время подобные устройства еще не называли полупроводниковыми, однако уже думали о замене ими радиоламп, которые были дорогими и ненадежными.

Известно, что сначала радиолампы «победили» кристаллы. Но в настоящее время идеи О. В. Лосева одержали полный триумф.

О. В. Лосев открыл явление преобразования частот в нелинейных устройствах, явление свечения кристаллов карборунда при прохождении тока и т. д. О. В. Лосев умер в 1942 г. в осажденном Ленинграде.

Блестящим физиком и инженером был пропагандист радиодела, основатель первых радиожурналов, прекрасный лектор и популяризатор науки **Владимир Константинович Лебединский**. Он был одним из организаторов и руководителей Нижегородской радиолaborатории, создателем журнала «Телеграфия и телефония без проводов» — первой научной летописи советской радиотехники.

В. К. Лебединский написал более 150 статей, был автором или научным редактором более 200 книг.

Выдающийся педагог **Дмитрий Апполинариевич Рожанский** еще в 1913 г. издал книгу «Электрические лучи», в которой излагались теоретические представления о радиотехнике того времени. Ему принадлежат классические работы по «искровой» радиотехнике. Это он ввел понятие «сопротивление излучения антенны», работал в области стабилизации ламповых автогенераторов, распространения коротких волн.

Блестящая плеяда советских ученых — продолжателей основоположников радиотехники появилась в 50-х годах. Нет возможности рассказать здесь обо всех. Многие из них работают директорами, главными конструкторами и ведущими научными сотрудниками в институтах Академии наук и промышленных министерств. Всех радистов нашей страны объединяет Всесоюзное научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова, которое много лет возглавляет один из старейшин радиотехники чл.-кор. АН СССР В. И. Сифоров.

Глава 3

ПРОИЗВОДСТВО РАДИОАППАРАТУРЫ КАК ПРОЦЕСС

В Вашем производстве много прекрасного и нового. Только прекрасное не ново, а новое не прекрасно.

Ф. Лист (из письма молодому композитору).

§ 3.1. ИНЖЕНЕР В НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ЦИКЛЕ

Для сохранения и улучшения условий своего существования человечество должно непрерывно совершенствовать *научно-производственный цикл*, состоящий в преобразовании первичных элементов нашего мира — вещества, энергии и информации — в высокоупорядоченные изделия (предметы), необходимые для указанной цели. Этими «изделиями» являются обогащенные полезные ископаемые, концентрированная управляемая энергия, машины и приборы для производства одежды, пищи и жилища, а также для защиты от возможных врагов. По мере развития у человека появляются и все возрастающие духовные (нематериальные, информационные) запросы.

Характерной особенностью научно-производственного процесса (цикла) в настоящее время является его высокая упорядоченность. Это означает, что «изделия» возникают, как правило, не в результате случайных находок и даже не путем многочисленных проб и ошибок, а как следствие *целенаправленного проектирования и изготовления на основе достижений науки*. Проектирование и изготовление являются основными *этапами производства*.

Наука состоит в поиске законов (закономерностей) в природе (понимаемой предельно широко) и обществе. *Производство* (проектирование и изготовление) состоит в использовании найденных законов для создания изделий.

Изделиями в радиотехнике являются устройства бытового применения (радиоприемники, телевизоры и др.), для контроля и управления производственными процессами (системы связи, автоконтроля, автоматического управления), для проведения научных исследований, в результате которых в свою очередь появляются новые научные знания. Так образуется научно-производственный цикл, непрерывно обновляющийся под влиянием науки на производство, и наоборот. Самые основные этапы этого цикла представлены на рис. 3.1.

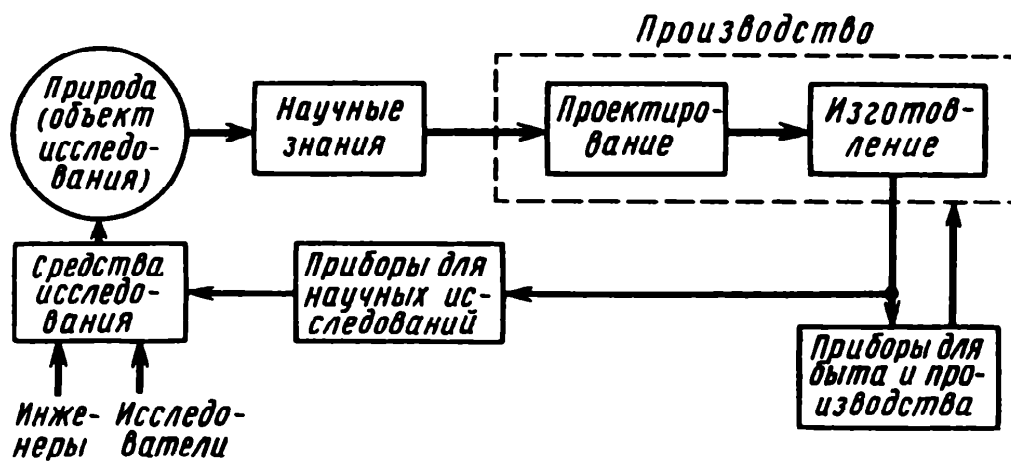


Рис. 3.1. К пояснению понятия научно-производственного цикла

Фундаментальным свойством научно-производственного цикла является невозможность его остановки. Это диктуется количественным ростом человечества, стремлением к повышению уровня жизни, стремлением к удовлетворению познавательных запросов и пока еще существующей конкуренцией общественно-политических систем.

Из всего сказанного ясно, что у науки и производства различны промежуточные цели (знания и изделия), различен исходный «материал» и вид конечной продукции (информация и материальные предметы). Однако в эпоху научно-технической революции (НТР) в ряде случаев нельзя однозначно указать границу, проходящую между наукой и производством. Это связано с тем, что процесс «превращения» знаний в изделия является сложным и многосторонним. Он практически может протекать лишь путем чередования этапов исследования и производства, а иногда даже их совмещения.

Обычно научные исследования условно делят на фундаментальные и прикладные. К первым относят исследования первичных свойств материального мира, в результате которых открываются не сводимые друг к другу *законы природы* (структура материи, виды энергии, законы их преобразования; явления в других мирах; законы взаимодействия вещества и поля и др.). Прикладные исследования ведут к познанию неизвестных закономерностей, направленных на более непосредственное практическое применение. Это деление достаточно условно. Иногда прикладные исследования могут оказаться столь важными, что переходят в разряд фундаментальных.

Итак, еще совсем недавно деление видов деятельности на научные и производственные (инженерные) было общепризнанным. Однако в настоящее время оно становится все более условным. Действительно, деятельность инженеров на производстве,

связанном с проектированием и изготовлением изделий, часто включает в себя необходимость проведения прикладных исследований. Инженер, таким образом, не может не участвовать в развитии науки, хотя конечной целью его работы является создание реальных устройств.

§ 3.2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

В § 3.1 образно определено производство как процесс «превращения» знаний, материи и энергии в изделия. Образность этого определения состоит в том, что знания (информация) не могут, конечно, непосредственно превращаться в изделия. Кроме того, такое определение производства не конструктивно (из него не следуют правила построения производства или другие конкретные указания). Оно не указывает пути превращения «входных» компонент в выходные изделия.

В настоящее время еще не удастся теоретически найти однозначно наилучшую структуру производства. Однако многолетняя производственная практика выработала достаточно четкое разделение производства на отдельные этапы, которые в свою очередь состоят из отдельных «шагов». Эти основные *этапы*, их *цели* и *результаты* представлены в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1. Основные этапы производственного процесса

Этап	Цель этапа	Результат этапа
А Замысел	Общее представление о будущем изделии	Словесные формулировки, эскизы
Б Проектирование	Оптимизация решения	Инженерный проект изделия
В Изготовление	Получение реального изделия	Выпуск изделий

Целью *этапа замысла* является получение некоторого общего представления о том, какое изделие, для чего и с какими свойствами желательно создать. При этом исследования ведутся на уровне анализа достижений предшественников, размышлений, возможно, с применением простейших подсчетов и использования для наглядности схем, эскизов или моделей.

На *этапе проектирования* проводят поиск возможных инженерных решений с целью определения наилучшего пути их реали-

зации, т. е. производится оптимизация инженерного решения по определенным количественным и качественным показателям, или *критериям оптимизации*. Конечной целью этого этапа является получение основного документа — технического проекта на изготовление изделия.

На *этапе изготовления* получают, наконец, реальные изделия в количествах, которые определяются условиями, являющимися по отношению к производству внешними. Именно этап изготовления иногда называют производством.

При рассмотрении этих этапов возникает ряд вопросов:

1) имеются ли общие пути проведения каждого этапа или их каждый раз необходимо находить заново?

2) какие факторы могут тормозить выполнение этапа и каковы пути повышения его эффективности?

3) каково соотношение интуиции и строгих расчетов на каждом этапе?

4) какие дополнительные соображения целесообразно принимать во внимание?

Вследствие сложности производственного процесса указанные этапы часто взаимно переплетаются так, что один и тот же этап может неоднократно повторяться, хотя и на более высоком уровне.

В дальнейшем в учебных целях эти этапы рассмотрены независимо и поочередно (ибо нельзя говорить обо всем сразу). Для конкретности весь производственный процесс проиллюстрируем примером проектирования и изготовления радиовещательного приемника.

§ 3.3. ЗАМЫСЕЛ — ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

Замысел нового изделия возникает из нескольких «источников»:

1) стремление улучшить уже существующее изделие (*усовершенствование*);

2) стремление придать ему новые свойства, которыми оно ранее не обладало (*модернизация*);

3) необходимость создать изделие, которое решало бы по новому поставленную задачу (*разработка*).

Возможны и комбинированные ситуации, поскольку это дело, как и всякая классификация, условно.

Приведем примеры различных задач.

У с о в е р ш е н с т в о в а н и е — это изготовление радиоприемника с более высоким качеством звучания, меньшими габаритами и весом.

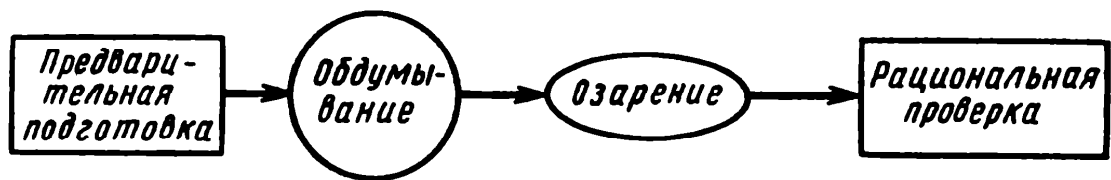


Рис. 3.2. Схема следования стадий формирования общего представления об изделии

Модернизация — это изготовление радиоприемника, способного принимать стереофонические передачи и имеющего более широкий рабочий диапазон волн, в том числе УВЧ.

Разработка — это изготовление радиоприемника на новой элементной базе (например, на интегральных схемах).

Рождение замысла в определенном смысле является наиболее творческим этапом производственного процесса. *Его нельзя формализовать.* Это значит, что нет регулярного, однозначно определенного правила отыскания замысла. Он носит полуинтуитивный характер. Его первичным источником является свойственное только человеку стремление к совершенствованию.

Появление замысла не сводится лишь к появлению идеи (мысли) о необходимости или желательности создания нового. Так как целью этого этапа (см. табл. 3.1) является формирование представления о будущем изделии, то должны быть найдены возможные и целесообразные пути решения поставленной задачи. Это наиболее сложно в случае разработки, так как здесь могут быть не ясны даже принципиальные пути решения. В такой ситуации, как показывает опыт многих поколений инженеров и изобретателей, процесс создания общего представления проходит через несколько типичных стадий (рис. 3.2).

Предварительная подготовка. На этой стадии инженеры внимательно обдумывают возникшую задачу с целью получения предварительной уверенности в возможности и целесообразности ее решения. Путем бесед, изучения имеющихся литературных источников и патентного материала они убеждаются, что подобное изделие еще не создано или создано не в лучшем (полном) варианте.

При этом следует убедиться, что задуманное изделие не противоречит основным законам природы (так бессмысленно задумывать радиоприемник, полагая, что он совершенно не будет подвергаться воздействию помех, так как это противоречит фундаментальным законам природы).

Обдумывание. На этой стадии происходит поиск общих путей решения поставленной задачи. Иногда говорят, что здесь происходит *генерирование идей.*

В простейших случаях такой поиск означает перебор возможных вариантов. Однако истинное творчество состоит в нахождении нового пути, который до сих пор не был известен инженерам. Так, в поисках пути повышения помехоустойчивости радиоприема в свое время наряду с увеличением мощности передатчиков был изобретен способ частотной модуляции несущего колебания.

«Генерированию идей», т. е. нахождению новых путей решения задачи, могут препятствовать ряд психобиологических и социальных факторов. К ним относятся узкая специализация инженера, сила привычки («инерция» мышления), влияние авторитетов, ложная скромность, опасение последующей критики.

Озарение является весьма своеобразной стадией творчества, которая иногда может и не иметь места. Она состоит в кажущемся *неожиданном* нахождении решения задачи. Озарение возможно в те периоды времени, когда инженер, казалось бы, и не думает о решении своей задачи. Решение может подсказать наблюдение какого-либо постороннего процесса.

Глубокое психологическое обоснование озарения еще не известно. Однако ясно, что оно — результат подсознательной переработки заложенной и поступающей в мозг информации. Озарение при отсутствии знаний невозможно. В этом смысле решение творческой задачи никогда не может явиться *абсолютно* новой идеей.

Рациональная проверка. Когда на стадии обдумывания (или в результате озарения) инженер считает, что нашел решение задачи, возникает необходимость тщательной проверки идеи. Пути этой проверки являются последовательные логические рассуждения, беседы с товарищами по работе, консультации у специалистов и т. д. При этом необходимо выяснить, не сделано ли какого-либо предположения, которое практически не выполнимо (например, предположение получения устойчивой добротности колебательного контура, равной 10 000), не пренебрегли ли каким-либо явлением, которое в действительности скажется на работе устройства (например, явлениями утечки токов через изоляцию, трения, нагрева элементов).

Часто эффективным приемом выяснения реальности найденного решения является рассмотрение его при экстремальных (очень больших или очень малых) значениях некоторых параметров. Такое рассмотрение на качественном уровне (без строгих расчетов) грубо определяет пределы применимости идеи и «нацеливает» инженера на последующие расчеты.

Остановимся несколько подробнее на втором этапе формирования общего представления об изделии, а именно пути поиска решения возникшей задачи (этап обдумывания или генерирова-

ния идей). Этот процесс долгое время представлялся исследователям неподдающимся формализации творческим феноменом. В настоящее время принято выделять следующие пути поиска решения: путь свободных ассоциаций, эмпатия, составление полной матрицы, метод «мозгового штурма», метод синэктики.

Путь свободных ассоциаций основан на предоставлении воображению инженера и изобретателя почти не контролируемой свободы поиска вариантов путем ассоциаций, т. е. связи одних явлений или процессов (которые уже были использованы в других ситуациях) с той задачей, пути решения которой отыскиваются. Наблюдение «постороннего» явления может подсказать решение задачи.

Хотя этот путь и назван путем свободных ассоциаций, его применение может, тем не менее, быть упорядочено за счет использования ряда подходов, которые представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. **Некоторые возможности поиска решений путем свободных ассоциаций**

Возможные подходы	Содержание
Приспособление по сходству	Найти сходную по форме задачу в другой области; приспособить этот метод к своей задаче
Реализация неиспользованных возможностей	Рассмотреть решение сходной задачи другими инженерами и отыскать какие-либо переменные (величины, параметры), которые не были ими использованы (например, полоса частот, время, полярность и др.)
Движение по времени	Рассмотреть возможность решения задачи путем перемещения операций во времени: введением сдвига, задержки, сжатия или растяжения временного масштаба
Движение по пространству	Рассмотреть целесообразность изменения габаритов, формы, пропорций отдельных частей существующих сходных изделий
Перестановки и обратные решения	Рассмотреть целесообразность изменения порядка (последовательности) операций или расположения деталей (частей) устройства. Попробовать применить противоположное (или почти противоположное) известному решение

Возможные подходы	Содержание
Отвлечение от конкретной формулировки (задачи)	Слишком конкретно поставленная задача может ограничить изобретателя в поисках путей решения. Целесообразно попробовать расширить постановку, осмыслить не что предлагается сделать, а зачем
Преобразование и замена	Рассмотреть возможность изменения природы рассматриваемых процессов (например, перевод механических в электрические), замены операций (например, возведения в квадрат — умножением), смены материалов или характера элементарных частей

Путь свободных ассоциаций требует от инженера широкого кругозора, знакомства с большим количеством смежных областей, воображения, непредвзятости мышления, смелости.

Путь эмпатии, который можно считать дополнением к пути свободных ассоциаций, состоит в мысленном «помещении» самого себя (или своего помощника) на место рассматриваемого изделия (устройства) и даже на место искомой «идеи». Эмпатия основана, по-видимому, на том, что «вжившийся в образ» инженер-изобретатель острее чувствует задачу и сопутствующие ей обстоятельства. При этом он яснее может отвечать на вопросы, возникающие у него самого или которые ему ставят.

Путь составления полной матрицы переменных состоит в систематическом переборе независимых переменных, связанных с решаемой задачей и рассмотрением их возможных комбинаций. Так, при поиске наилучшего приемного устройства можно выбрать в качестве независимых переменных тип активных элементов (полупроводниковые, электронные или др.), количество диапазонов волн, типы автоматических регулировок, виды принимаемых сигналов (АМ, ЧМ).

Совместное сочетание значений каждой переменной образуют *комбинацию*. Некоторые из них могут оказаться невозможными, некоторые явно нецелесообразными. Среди оставшихся необходимо произвести отбор на последующих стадиях процесса. Путь составления полной матрицы очень трудоемок, однако позволяет

систематически пересмотреть все (или почти все) явные возможности.

При использовании этого метода поиска решения целесообразно пользоваться наглядным представлением результатов. Для этого составляется какая-либо графическая диаграмма вариантов, позволяющая быстро отыскивать и сопоставлять варианты.

Метод «мозгового штурма» основан на корреляции (взаимосвязи) мышления группы людей и взаимном стимулировании их мышления. (Это знает каждый студент по опыту совместной проработки сложного вопроса программы.)

«Штурмом» управляет опытный и широкоэрудированный руководитель. Он обязан создать атмосферу, способствующую смелым высказываниям всех участников «штурма». Все предложения только записываются. Критика идей типа «это не верно», «это уже давно известно» и других не допускается. Критический отбор предложений осуществляется после окончания процесса «генерирования» предложений.

Синэктика может рассматриваться как разновидность или продолжение метода «мозгового штурма», однако при этом ведется не только поиск, но и разработка идей, которых отбирают немного (не более трех). При синэктике («совместном действии») возрастает роль квалификации и организационных способностей руководителя. Он не только решает (в ходе процесса обсуждения), какие из высказанных идей отобрать, но и дает направление обсуждению по их развитию.

В заключение еще раз подчеркнем, что не существует единой формулы творчества. Этот процесс может быть лишь частично упорядочен. Хорошо развитая память, глубокие специальные знания, кругозор, способность к самообразованию, любознательность, наблюдательность, критическое восприятие, энтузиазм и находчивость — вот исходные составные элементы, необходимые для творчески мыслящего инженера.

§ 3.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ — ОПТИМИЗАЦИЯ

Схему, соответствующую процессу проектирования, можно представить в форме «шестиполюсника», на «входах» которого находятся результат работы инженера на этапе замысла и критерии проектирования, а на выходе — инженерный проект изделия (рис. 3.3). Характерной особенностью хорошего проекта должна являться оптимальность предложенного инженерного решения по заданному критерию (или нескольким критериям).

Можно сказать, что на этапе замысла устанавливаются *принципиальная* возможность и пути создания изделия. На этапе же

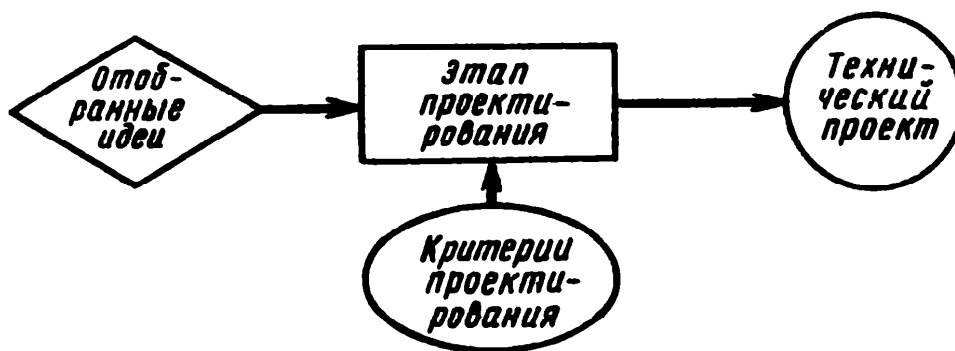


Рис. 3.3. Схема обобщенного представления этапа проектирования

проектирования отыскиваются *конкретные пути* его изготовления с учетом реальных возможностей и ограничений. Этап проектирования требует строгих инженерных и экономических знаний, умения рассчитывать, количественно находить лучшие конкретные решения и учитывать ряд дополнительных обстоятельств.

На этапе проектирования создают два документа: эскизный проект (на начальной стадии проектирования) и технический проект. Они отличаются глубиной проработки задачи.

Процесс проектирования, как и процесс замысла, можно представить в виде последовательности действий, как показано на рис. 3.4.

Выработка цели проектирования состоит в конкретизации замысла. Конкретизация может выражаться и в качественных, и в количественных (если это возможно) показателях. Так, в отличие от замысла спроектировать радиоприемник для приема УКВ радиостанций, в том числе стереофонических передач, при выработке цели может быть установлен конкретный диапазон перестройки, желательные качественные показатели, степень автоматизации устройства.

Очень важно *не смешивать цели* проектирования с возможными *способами* решения. Так, цель «повышение качества звучания», сформулированная в виде «использовать высококачественные динамические громкоговорители данного типа», будет неправильна, так как повышение качества звучания является более широкой задачей, чем использование хороших динамиков.

При выработке цели проектирования инженер опирается на найденные на этапе замысла общие пути решения задачи. Эти пути конкретизируются в форме графических структурных схем, кинематических диаграмм, возможно, пространственных моделей, предварительных (оценочных) подсчетов, указаний типа «больше, чем» или «не хуже, чем». Вовсе не исключено, что на этом этапе будут обнаружены новые пути решения, не найденные на предыдущем этапе.

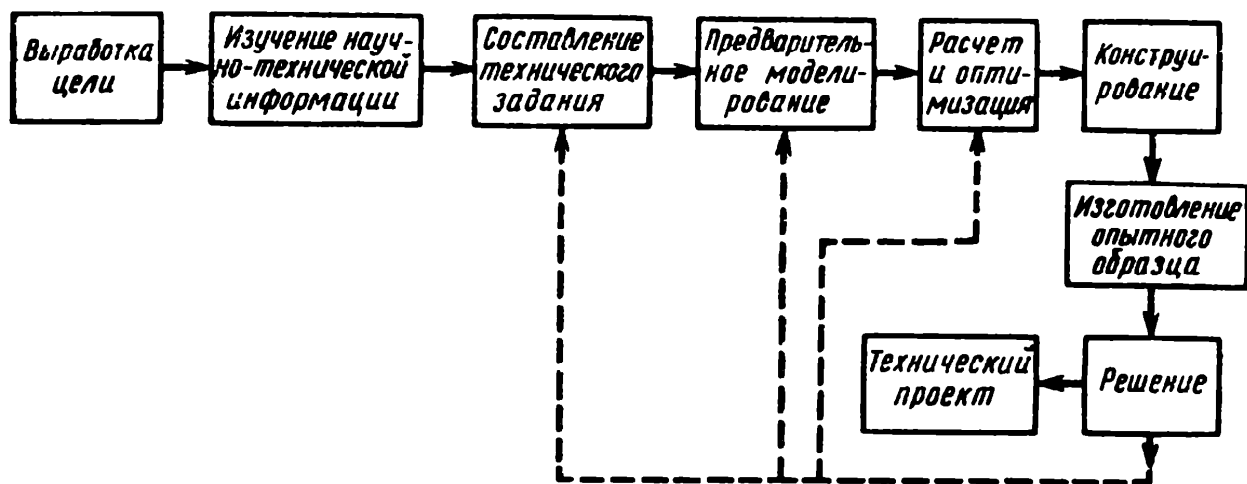


Рис. 3.4. Схема представления процесса проектирования изделия

На этапе выработки цели устанавливаются предварительные физико-технические и экономические ограничения. Так, может быть установлено количество изделий, которое будет выпущено (всего или в год), предельная себестоимость изделия, другие дополнительные ограничения.

Изучение научно-технической информации. Обычно инженер или группа инженеров-проектировщиков являются специалистами высокой квалификации. Однако для того чтобы использовать все имеющиеся достижения в данной конкретной области, они собирают научную и техническую информацию по заданному вопросу из всех доступных им источников. Ими являются специальные книги и журналы, научно-технические отчеты других предприятий, патентные материалы, каталоги деталей и элементов устройств (например, микросхем, активных элементов, справочники, ГОСТы).

Важным условием успешного проведения этапа проработки информации являются глубокие первоначальные (базовые) знания, которыми должны обладать инженеры. Это обусловлено тем, что информационный анализ должен быть произведен в короткий срок и квалифицированно.

В результате проведения этого этапа проектирования иногда может быть вынесено два отрицательных решения: 1) о невозможности изготовления проектируемого изделия (например, вследствие отсутствия элементов с необходимыми свойствами или подходящих материалов), 2) о нецелесообразности проектирования, так как подобное изделие оказывается чрезмерно дорогим и неэкономичным. Но если этап замысла был проведен достаточно полно, вероятность таких решений очень мала. Чаще всего инженер-проектировщик получает необходимые данные, чтобы перейти к следующему, весьма ответственному шагу проектирования.

Составление технического задания (ТЗ). На основании выводов, сделанных на этапах выработки цели и информационной подготовки, оформляют официальный документ — **техническое задание (ТЗ)**, который становится техническим законом для последующих действий (ТЗ утверждает руководящий орган предприятия или министерства).

ТЗ в различных ведомствах и на различных предприятиях может несколько отличаться по форме, но всегда оно должно являться по возможности формализованным (числовым) перечнем «входных» и «выходных» требований к проектируемому изделию и лишь в редких случаях (диктуемых априорными ограничениями) может содержать указания *о путях* решения задачи.

Как правило, ТЗ содержит такие разделы: назначение устройства; природа и диапазон изменения значений величин, которые для будущего устройства являются «входными»; «выходные» параметры устройства; условия его последующей эксплуатации (температура, влажность, вибростойкость и др.); требования к его надежности (гарантированное время работы до отказа или другие показатели); вес и габариты устройства; условия на использование конкретных материалов или элементов («полуфабрикатов»); необходимая степень автоматизации; допустимая степень влияния на окружающую среду (экологические требования и техника безопасности); предельная потребляемая мощность.

В дальнейшем процессе проектирования ТЗ может изменяться. Однако для этого должны быть очень важные основания, и это сопряжено с необходимостью переутверждения ТЗ (или утверждения корректирующих его документов).

Предварительное моделирование (см. рис. 3.4). Хотя общие пути построения изделия известны уже на этапе замысла и уточнены на этапах выработки цели и изучения информации, конкретные возможности (способы) создания отдельных узлов, блоков и даже элементов устройства могут еще оставаться неясными. Так, при построении радиоприемного устройства по установленной структурной схеме может быть не ясна возможность изготовления усилителя сигналов с требуемым устойчивым коэффициентом усиления в заданной полосе частот. В этом случае производится моделирование усилителя.

Моделью называется избранный способ замены изучаемого объекта. Модели могут быть *математические* (описание с помощью формул, графиков, таблиц) и *физические*. Физическая модель — это упрощенное по сравнению с будущим изделием устройство (макет), но сохраняющее его основные свойства (последнее требование называют адекватностью модели).

Выбор модели является очень ответственным шагом, так как заранее далеко не всегда ясно, какие именно свойства изделия должна сохранить модель. Так, модель усилителя, изготовленная (сконструированная) более «просторно», чем будущий усилитель в изделии, может показать положительные результаты, в то время как реальный усилитель, уменьшенный по габаритам, может оказаться неустойчивым.

Существует большое разнообразие моделей, которые могут временно заменять будущие реальные изделия. При моделировании широко применяют цифровые вычислительные машины (ЦВМ) и специальные моделирующие (аналоговые) машины. Моделирование может производиться на самых различных этапах проектирования, как до, так и после составления технического задания.

Расчет и оптимизация. Так как структурная схема определяет только характер и последовательность операций над входными величинами, то, как правило, имеется несколько *технических путей* их выполнения.

Расчет и оптимизация состоят в рассмотрении всех возможных вариантов построения частей изделия. В настоящее время подавляющее число блоков, составляющих сложное радиотехническое изделие, могут быть теоретически рассчитаны, т. е. могут быть найдены значения параметров всех элементов (деталей), входящих в блок, требования на внешние показатели которого заданы, рассчитаны пределы изменения параметров, определенных в ТЗ.

Оптимизация состоит в том, чтобы найти такой вариант построения устройства, при котором будут выполнены основные требования, а другие (вспомогательные) не выйдут за заданные пределы. Так, основным требованием при проектировании радиоприемного устройства может быть чувствительность при габаритах, весе и потребляемой мощности не превышающих заданные значения.

При расчетах и оптимизации все шире начинают использовать *автоматизированные системы проектирования* на базе универсальных ЦВМ.

Конструирование состоит в графическом моделировании будущего изделия, т. е. в изготовлении чертежей, определяющих пространственное расположение и общее устройство составных частей будущего изделия при ограничениях, наложенных предыдущими этапами. При этом должны быть приняты во внимание ряд взаимосвязанных соображений. Основными из них являются: обеспечение соответствия теоретически рассчитанных процессов тем, которые будут реально происходить в изделии (отсутствие

паразитных связей, «утечек» и других явлений); удобство управления изделием; удобство подведения энергии для электропитания, входных и выходных колебаний; эстетический вид изделия; удобство его установки и транспортировки; защита от влажности, пыли и других внешних воздействий; обеспечение безопасной работы с устройством; защита от недопустимого воздействия на внешнюю среду.

Конструирование обычно осуществляет специальная группа инженеров, которые должны хорошо знать как теоретические предпосылки работы устройства, так и особенности производства (технологии), на котором будут изготавливать изделие.

Конструктор должен в совершенстве владеть знанием Государственных стандартов и Единой системой конструкторской документации (ЕСКД) и строго выполнять их. Обычно конструкторы работают в тесной связи как с инженерами, проектирующими изделие, так и с инженерами производственных подразделений.

Процесс конструирования изделия может быть автоматизирован на основе использования ЦВМ. В наиболее совершенных автоматизированных системах даже изготовление детальных чертежей и выдача документации может осуществляться ЦВМ и выдаваться выходными устройствами.

Изготовление опытного образца. Хотя на всех предшествующих стадиях проектирования были приняты возможные меры к успешному завершению процесса проектирования, он не может считаться завершенным до того, как будет изготовлен *опытный образец* и произведено его испытание. Опытный образец, изготавливаемый часто в нескольких экземплярах, создают в строгом соответствии с расчетом и конструкторской документацией, так как его работоспособность является окончательным критерием оценки правильности проведения всех предшествующих стадий проектирования.

Опытный образец желательно изготавливать с участием того предприятия, где потом будет осуществляться его массовый выпуск. В процессе изготовления опытного образца могут быть внесены коррективы не только в конструкцию, но и в проект схемных решений устройства.

Испытания состоят в экспериментальной проверке опытного образца изделия на соответствие техническому заданию. Наиболее ответственные изделия проходят несколько видов испытаний. Основными из них являются лабораторные и полевые.

При лабораторных испытаниях производят проверку выполнения требований ТЗ по выходным показателям, их сохранению при изменении внешних условий (климатические испытания),

при тряске (вибрационные испытания), по потреблению энергии и др.

Полевые испытания подразумевают проверку изделия в реальных условиях эксплуатации, предусмотреть которые в лаборатории невозможно. При этом в ряде случаев, например при проверке подвижных радиостанций, полевые испытания могут быть связаны с выездом «в поле» в буквальном смысле для проверки работоспособности системы на местности.

Лабораторные и полевые испытания производит комиссия по предварительно разработанной методике. По их результатам составляют официальные протоколы.

Решение о передаче изделия в производство выносится по результатам испытаний при удовлетворении всем требованиям ТЗ. Окончание этого этапа оформляется в виде *технического проекта*. При отклонении некоторых параметров от ТЗ отыскивают причины несоответствия. Ошибки могут быть обнаружены на всех этапах проектирования. При обнаружении ошибок данный этап (и все следующие за ним) повторяют (на рис. 3.4 этому соответствуют пунктирные линии). В крайних случаях могут быть пересмотрены требования ТЗ.

§ 3.5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ (ПРОИЗВОДСТВО) ИЗДЕЛИЯ

Изготовление изделий является заключительным этапом научно-производственного цикла. Именно изготовление изделий часто называют производством.

Изготовление изделий может быть индивидуальным, мелкосерийным, серийным или массовым в зависимости от общего количества изделий, которое производится. Однако в любом случае изготовление является ответственным этапом, от успеха которого зависит оценка всего научно-производственного цикла. В некотором смысле можно утверждать, что сама ценность этапов замысла и проектирования условна. Она станет реальной лишь в случае успешного выпуска изделий.

Процесс изготовления различных изделий существенно отличается по характеру стадий и его организации в зависимости от вида изделий, организации производства (автоматическое, поточное, конвейерно-ручное или смешанное), оснащения предприятия оборудованием, исторически сложившимися иными условиями. Схема основных стадий процесса изготовления представлена на рис. 3.5.

Подготовка конструкторской документации. Современные радиотехнические изделия, как правило, настолько сложны, что их

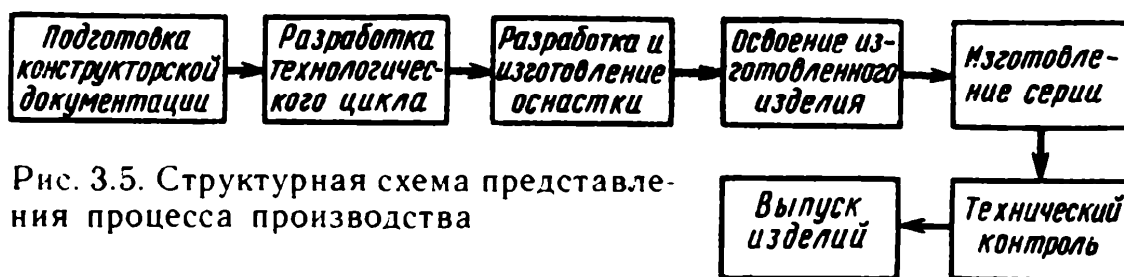


Рис. 3.5. Структурная схема представления процесса производства

изготовление не может производиться инженерами, мастерами и рабочими на основании только структурных схем изделий, представления об их функционировании и общих чертежей, показывающих внешний вид изделия и его частей. (Вспомним, что свой фонограф Эдисон просто нарисовал на листе бумаги и передал мастеру для изготовления, дав лишь словесные пояснения.)

Конструкторская документация — это полный комплект чертежей и указаний к ним, необходимых для того, чтобы правильно понять задание и изготовить каждый отдельный элемент изделия, собрать узлы в блоки и смонтировать изделие в целом. В наиболее современных научно-производственных объединениях конструкторская документация выполняется не на предприятиях, изготавливающих изделия, а в научно-исследовательских институтах или конструкторских бюро.

Конструкторская документация составляет в строгом соответствии с существующими Государственными стандартами и требованиями ЕСКД (единой системы конструкторской документации). Правильно составленная конструкторская документация должна содержать достаточную информацию для изготовления изделия на любом предприятии, предназначенном для изготовления изделий рассматриваемого класса.

На основании конструкторской документации отдел снабжения предприятия осуществляет составление заявок на те части изделия, которые должны быть получены от смежных предприятий.

Разработка технологического цикла. В конструкторской документации даются четкие и однозначные указания о том, что именно необходимо изготовить, но не говорится однозначно, как это сделать. Каждый элемент изделия обычно можно изготовить с применением различных станков или другого оборудования, с применением различной последовательности операций. Для наиболее эффективного и качественного выполнения элементов и изделия в целом мастерам и рабочим необходимы также указания о том, как, в каком порядке и на каком оборудовании целесообразно производить операции, как и чем их контролировать.

Эти указания обеспечиваются длительной и трудоемкой разработкой всего технологического цикла инженерами-технологами, хорошо знающими особенности изделия и оборудование

предприятия, а также смежные дисциплины технологического процесса (теорию материалов, теорию допусков и др.).

В результате разработки технологического цикла каждый элемент изделия снабжается комплектом технологической документации, содержащей полную информацию о порядке изготовления элемента.

Разработка и изготовление оснастки. Как бы хорошо ни было укомплектовано предприятие станками, приборами и другим стандартным оборудованием, изготовление нового изделия не может быть начато без дополнительных (вспомогательных) устройств, учитывающих специфику изготовления конкретного изделия и возможности имеющегося оборудования. Эти дополнительные изделия называют о с н а с т к о й, которая как бы «согласует» изделие и его составные части с универсальным оборудованием. Разработка оснастки представляет большое поле деятельности для конструктора и изобретателя. Разработка оснастки также может производиться в научно-исследовательском институте или конструкторском бюро.

Освоение процесса изготовления изделия. Несмотря на тщательно разработанную конструкторскую документацию и весь технологический цикл, изготовление нового изделия на конкретном предприятии может встретить некоторые препятствия. Это объясняется очень большим количеством составных элементов производства, их взаимодействием и взаимным влиянием, учесть которые заранее практически нельзя. Возможны также прямые ошибки в начале производства изделия.

Поэтому *период освоения* изготовления изделия неизбежен, а его продолжительность определяется новизной и сложностью изделия для предприятия. В процессе освоения могут вноситься коррективы в конструкторскую документацию, технологический цикл и оснастку.

Изготовление нужной серии изделий и сопровождающий его *технический контроль* являются завершающими стадиями всего научно-производственного цикла. Это не означает, однако, что производство является установившимся процессом, происходящим почти автоматически. По мере накопления опыта изготовления и эксплуатации изделия творчески мыслящие инженеры, техники и рабочие вносят усовершенствования, направленные на повышение производительности труда, экономию материалов, улучшение качества изделия (рационализаторские предложения, передовой опыт). Одной из оценок налаженного производства является присвоение изделию государственного Знака качества, которое производится специальной комиссией по установленной методике.

Глава 4

РАДИОТЕХНИЧЕСКАЯ ОТРАСЛЬ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Наука вырастает из технологии и, окрепнув, берет ее на буксир.

С. Лемм

§ 4.1. ЧТО ТАКОЕ ОТРАСЛЬ

Отрасль — это совокупность взаимосвязанных предприятий, учреждений, организаций, обеспечивающих выполнение качественно *однородных народнохозяйственных задач*. Народное хозяйство состоит из отраслей производственного и непроизводственного типов. Так, автомобильная, авиационная, химическая промышленность, сельское хозяйство являются отраслями производственного типа, производящими изделия, продукты, товары определенного назначения. Их предприятиям свойственны и *специфические* технологические процессы.

Отраслями народного хозяйства непроизводственного типа являются системы здравоохранения, просвещения, высшего образования и т. д.

Отрасль может объединять предприятия не одного, а нескольких министерств.

Радиотехническая отрасль народного хозяйства — отрасль *производственного* типа. Ассортимент продукции данной отрасли чрезвычайно широк, что объясняется прежде всего разнообразием применения радиоэлектроники в жизни общества. В радиотехнической промышленности непосредственно используют в процессе производства новейшие научно-технические достижения. Ее прогресс теснейшим образом связан с прогрессом фундаментальных и прикладных наук. Можно с уверенностью утверждать, что в данной отрасли наука прочно заняла место производительной силы.

Практически, уже со времени своего зарождения радиопромышленность стала опираться на систему научно-исследовательских институтов, результаты деятельности которых находили и находят непосредственный выход в сферу серийного и массового производства. Большинство выпускаемых радиопромышленностью изделий проходит стадию опытного производства в подразделениях, нередко непосредственно входящих в состав на-

учно-исследовательских институтов (НИИ) или конструкторских бюро (КБ). В этом находит логическое завершение организация поисковых научно-исследовательских работ, проводимых в НИИ и КБ.

Радиотехническая отрасль народного хозяйства (радиотехническая промышленность) состоит из предприятий, объединенных под руководством не одного министерства. Такое положение можно объяснить широким масштабом выпуска готовой продукции и ее нацеленностью на большое число потребителей. Это определяется также требованием гибкости, оперативности управления народным хозяйством. Основная часть промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций радиотехнического профиля сосредоточена под руководством Министерства радиопромышленности (Минрадиопром). Наряду с предприятиями Минрадиопрома разработкой и производством радиоаппаратуры заняты предприятия Министерства промышленности средств связи (Минпромсвязи), ориентированные в основном на обеспечение систем связи, радиотелевизионного вещания, а также на производство широкого ассортимента бытовой радиоэлектроники. Минпромсвязи выделилось как самостоятельное сравнительно недавно из состава Минрадиопрома. Можно указать также и на ряд других министерств, в составе которых находится некоторая часть предприятий, главным образом научно-исследовательского и опытно-конструкторского характера, ориентированных на удовлетворение потребностей соответствующих отраслей в специальной радиоэлектронной аппаратуре (например, министерства медицинской промышленности, гражданской авиации, авиационной промышленности, судостроительной промышленности и др.). На предприятиях таких министерств успешно трудится значительное число выпускников высших радиотехнических учебных заведений. Можно сказать, что от их подготовки, усилий и достижений зависят успехи «нерадиотехнических» предприятий и отраслей.

Радиотехническая отрасль имеет широкие связи со многими отраслями народного хозяйства. Их можно подразделить в основном на два типа. Первый — это поставки готовой продукции (систем и устройств) ее потребителям и заказчикам. Второй состоит в том, что радиотехническая промышленность сама является потребителем широкого ассортимента изделий, полуфабрикатов и материалов, производимых предприятиями других отраслей народного хозяйства, например электротехнической, химической, металлургической и др.

Особо тесные связи Минрадиопром имеет с Министерством электронной промышленности (Минэлектронпром), предприятия

которого производят изделия, являющиеся компонентами радиотехнических аппаратов и систем (полупроводниковые диоды, транзисторы, микросхемы общего применения, твердотельные устройства различного назначения и различных диапазонов волн, электровакуумные приборы).

Минэлектронпром выделилось как самостоятельное из состава Минрадиопрома в 60-х годах. Это был период перевооружения нашей радиопромышленности на основе новейших достижений электронной техники, ее перевода на новую компонентную базу.

За двадцать лет промышленность, производящая компоненты радиоаппаратуры, сделала огромный шаг вперед. Налажено массовое производство новых электронных приборов, вырос их ассортимент. Неизмеримо повысилась надежность как элементов радиоаппаратуры, так и аппаратуры в целом, резко возрос уровень функциональной законченности изделий. Все это в сочетании с прогрессивными принципами проектирования радиоаппаратуры позволило достичь качественно нового уровня ее тактико-технических, технологических и эксплуатационных характеристик, осуществить миниатюризацию. В свою очередь это привело к расширению сферы применения радиоэлектронных устройств и систем.

Электронная промышленность не ограничивается выпуском только «полуфабрикатов», из которых радиоинженеры конструируют аппаратуру. Располагая новейшей технологией, предприятия данной отрасли выпускают и законченные изделия, отличающиеся весьма высоким качеством. Для примера можно указать на известную серию поколений хорошо зарекомендовавших себя миниатюрных телевизоров, переносную аппаратуру для передачи цветных телевизионных репортажей, серию малогабаритных вычислительных машин.

§ 4.2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Развитию радиотехнической промышленности в нашей стране уделяется огромное внимание. Выдающийся вклад в ее развитие был сделан Валерием Дмитриевичем Калмыковым (1908—1974), удостоенным звания Героя Социалистического Труда, который являлся продолжительное время министром радиопромышленности.

Современная радиотехническая промышленность — это сложная система, содержащая большое число кооперированных предприятий: научных, конструкторских и непосредственно производящих готовую продукцию. Предприятия связаны системой управления. Наряду с внутренними связями радиотехни-

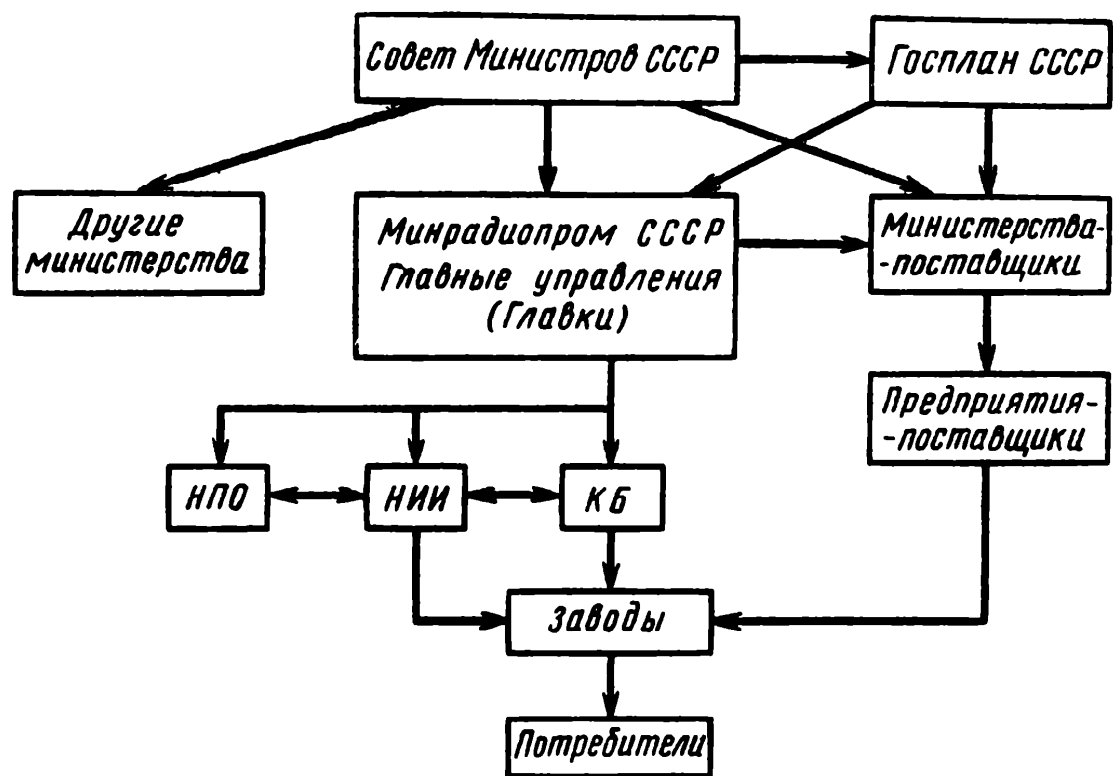


Рис. 4.1. Схематическое представление места радиотехнической промышленности в системе народного хозяйства

ческие предприятия имеют развитую сеть внешних связей с предприятиями — поставщиками материалов, приборов, изделий, необходимых при производстве радиоэлектронной аппаратуры, а также с организациями — потребителями готовой продукции. Условно схематическое представление Министерства радиопромышленности в системе народного хозяйства дано на рис. 4.1. На схеме стрелками показаны главные каналы управления и взаимодействия. В ведении Совета Министров СССР находится большое число министерств и ведомств. Одним из них является Минрадиопром. Функции планирования и контроля выполнения государственных планов Правительство СССР осуществляет через Госплан СССР.

Минрадиопром возглавляет министр и его заместители. В составе министерства имеется несколько крупных подразделений, осуществляющих функции оперативного управления предприятиями — это Главные управления (главки). В их непосредственном подчинении находятся группы предприятий близкого профиля. Основными предприятиями, входящими в состав министерства, являются заводы, КБ, НИИ, а также научно-производственные объединения (НПО). Рассмотренные в гл. 3 этапы процесса производства радиоаппаратуры хорошо согласуются с приведенной схемой организации радиопромышленности.

Несмотря на различие характера деятельности таких предприятий, общая цель у них одна — обеспечение выпуска готовой

продукции. Готовая продукция в зависимости от назначения может быть продукцией массового, серийного производства, может быть единичной (либо даже уникальной). Примером первой являются телевизоры, навигационное радиоэлектронное оборудование самолетов, широко используемые измерительные приборы. Примером уникальной продукции могут служить радиотелескопы различных типов, радиоэлектронное оборудование межпланетных кораблей, используемых для исследования дальнего космоса.

Научно-исследовательские институты, как об этом говорит само название, — это предприятия в основном научного, поискового характера. Здесь ведется исследование путей создания изделий в соответствии с новыми народнохозяйственными задачами, синтезируются математические алгоритмы, описывающие принцип действия устройств и систем, намечаются инженерные методы реализации устройств, проводится исследование будущего образца на моделях. Практически нецелесообразно отделять этапы обдумывания решения и даже его замысла от этапа проектирования изделия. Поэтому в НИИ наряду с замыслом и обдумыванием осуществляется проектирование. Но этим не ограничиваются функции научно-исследовательского института. Там же с использованием конструкторских подразделений и опытных производств (входящих в состав НИИ, либо самостоятельных организаций подобного профиля) на завершающем этапе проектирования производится и разработка опытных образцов будущих изделий, а также их испытания. После успешного завершения испытания опытных образцов проект изделия передается для внедрения в производство на завод.

Конструкторские бюро — это предприятия, именуемые так потому, что их продукцией является конструкторская документация, необходимая для освоения выпуска продукции промышленным предприятием. В КБ, как и в НИИ, нередко предусматривается проведение и поисковых работ. В этом смысле весьма часто КБ оказываются по характеру деятельности довольно близкими к НИИ. Конструкторские бюро тесно связаны с заводами, которым поручается освоение выпуска изделий. Крупные КБ могут иметь и свое опытное производство, на котором проверяются конструкторские решения.

Завод — предприятие промышленного типа. Его функции состоят в производстве изделий в соответствии с проектом и требованиями к качеству. На заводе происходит сложный процесс материализации проекта, в ходе которого из отдельных элементов, заготовок и просто материалов рождается законченное изделие. Завод — это система, содержащая множество подразделе-

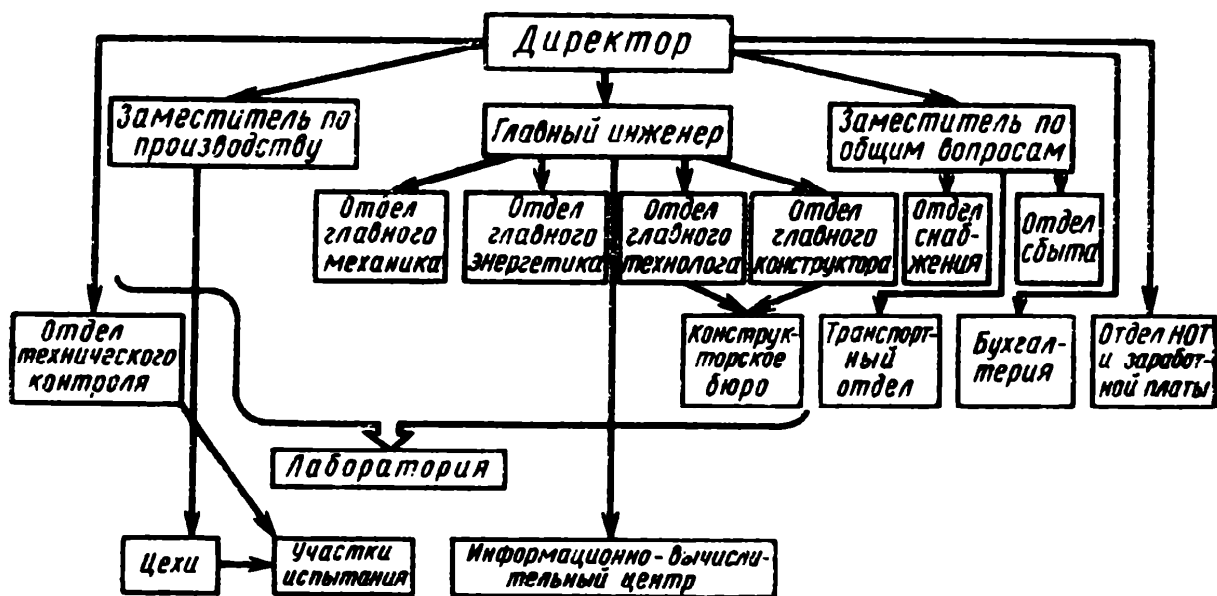


Рис. 4.2. Состав основных подразделений завода и структура управления

ний, объединенных согласованным режимом работы. Схематически состав основных подразделений завода и их взаимодействие показаны на рис. 4.2.

Основной производственной единицей завода является цех во главе с начальником цеха. В состав цеха может входить несколько подразделений — участков. В пределах цеха выполняют определенные технологические операции над объектом производства, производят детали и узлы, поступающие далее либо на последующие операции, либо непосредственно на сборку изделия. В качестве примера можно указать на следующие характерные для радиотехнического производства цехи:

1) *механические*, включающие в себя заготовительный, штамповочный, токарный, намоточный и другие участки (на крупных производствах такие участки могут являться самостоятельными цехами);

2) *инструментальный*, изготавливающий специальные приспособления, оснастку производства, нестандартный инструмент;

3) *гальванический* или цех покрытия, где изготавливаемые изделия или их детали подвергаются декоративному или защитному покрытию;

4) *по производству специфических для конкретного изделия нестандартных компонентов*, например печатных плат, трансформаторов, источников питания, входных устройств сверхвысоких частот, блоков телевизионных разверток, устройств коммутации, отображения информации и т. д.;

5) *сборочные*, куда поступают комплектующие покупные изделия, а также продукция отдельных цехов и участков завода

и где происходит постепенное, от операции к операции, «наращивание» изделия, его постепенное приближение к законченному виду.

На этапах изготовления отдельных элементов, а также по окончании сборки изделия подвергаются регулировке и техническому контролю на соответствие установленным параметрам и требованиям качества. Данные операции могут проводиться на специально оборудованных участках либо в отдельных цехах или лабораториях. Полностью законченные изделия обычно подвергаются комплексу специальных испытаний, имеющих целью выявление скрытых дефектов, а также оценку надежности, в том числе и при работе в экстремальных условиях. К таким испытаниям относятся испытания на термо-, вибро- и влагоустойчивость, на устойчивость работы при изменении давления и др. Этим испытаниям может подвергаться не вся продукция, а выборочно отдельные изделия.

Заводские лаборатории играют важную роль в производственном процессе. От них в большой степени зависит качество продукции. В лабораториях проводят исследования, непосредственно связанные с производственным процессом, такие, как анализ свойств материалов, поступающих в производство, качество покрытий, электрические характеристики особо ответственных комплектующих изделий, а также деталей, производимых на заводе. В лабораториях устанавливают причины, вызывающие брак, проверяют допустимость внесения изменений в технологический режим, в состав используемых материалов.

Заводские лаборатории — это в сущности научно-исследовательские подразделения завода. Там осуществляется поиск путей усовершенствования изделий, новых конструкторско-технологических решений. В лабораториях производится разработка специальной измерительной и испытательной аппаратуры.

Следует подчеркнуть, что современному производству свойственна кооперация. *К о о п е р а ц и я* является средством повышения рентабельности производства, т. е. лучшего использования ресурсов, снижения себестоимости продукции, повышения ее качества. Кооперация может быть межотраслевая и внутриотраслевая.

При кооперативной организации производства отдельным заводам поручают изготовление типовых деталей, используемых при выпуске изделий определенного назначения. Такими деталями могут быть, например, переключатели программ телевизионных приемников, источники питания и т. д. Кооперация тем более выгодна, чем более массовым является производство.

Она предполагает соблюдение строжайшей дисциплины и технической культуры производства и основана на стандартизации, которой в нашей стране уделяется большое внимание.

Государственные стандарты (ГОСТы), отраслевые стандарты (ОСТы) и стандарты предприятий (СТП), регламентирующие параметры и качество изделий и полуфабрикатов,— это закон современного производства.

§ 4.3. НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ

На рис. 4.3 в качестве одной из подсистем, входящих в состав радиотехнической отрасли, показана структурная схема научно-производственного объединения (НПО).

Качество продукции, ее основные характеристики, включая экономические показатели, продолжительность периода ее разработки и освоения в производстве, определяются всеми этапами производственного процесса, включая этап поисковых исследований. Следовательно, наибольший эффект может быть достигнут при соблюдении полной преемственности и обеспечения тесного взаимодействия подразделений, обеспечивающих выполнение всех производственных циклов. В организационном плане это означает наличие централизованного управления комплексом, состоящим из научно-исследовательского института, конструкторского бюро и завода, а также наличие постоянных производственных связей между ними.

С целью создания прогрессивных производственных структур, отвечающих современным требованиям организации производства на основе активного использования новейших научных достижений и гибких методов управления, в нашей стране проведена большая работа по реализации в народном хозяйстве системы комплексных укрупненных организаций, называемых объединениями (научно-производственными или производственными).

К концу десятой пятилетки в стране создано около четырех тысяч объединений в разных отраслях народного хозяйства. Ими производится почти половина всей промышленной продукции. Передовой опыт организации проектирования и освоения производства, накапливаемый в НПО, становится достоянием других предприятий отрасли. Связи НПО, во главе которого стоит генеральный директор, с другими организациями схематически показаны на рис. 4.3. *Внутренние связи* обеспечивают законченность производственного цикла и высокий уровень его организации. *Внешние связи* НПО с предприятиями родственного профиля (заводами, НИИ, КБ) являются следствием его положе-

ния в отрасли, как передового научно-производственного центра. В отрасли может быть несколько объединений подобного типа, различающихся проблематикой решаемых научно-практических задач.

Деятельность НПО позволяет оптимально использовать ресурсы и фонды, сокращать время разработки и освоения производства новой техники, другими словами, *повышать эффективность производства.*

Создание крупных объединений наряду с повышением эффективности управления и органического слияния науки и производства имеет и немалое социальное значение. Радиоинженер (или инженер другой специальности), направленный после окончания вуза на одно из предприятий, входящих в состав НПО, получает возможность в наиболее полной степени использовать приобретенную в высшей школе подготовку, выбрать по душе род конкретной инженерной деятельности. К такому выбору специалист приходит обычно не сразу. Для этого необходимо приобрести некоторый опыт самостоятельной работы на производстве. Этот опыт, как и советы более опытных товарищей по труду, подсказывает, что следует выбрать радиоинженеру в качестве «дела жизни» — конструирование радиоаппаратуры, создание радиотехнических систем, проектирование микросхем частного применения, участие в проведении поисковых научных исследований, или же, наконец, организацию производственных технологических процессов.

Конкретные виды деятельности радиоинженера могут быть весьма разнообразными. В условиях большой комплексной организации, какой является НПО, перемещения инженера в сфере производственной деятельности могут происходить наиболее оптимальным образом, т. е. при лучшем сочетании интересов производства и личных устремлений специалиста. В условиях НПО полнее реализуются возможности творческого роста личности, осуществляется наиболее целесообразное использование кадров. В научно-производственных объединениях, как передовых предприятиях отрасли, организация труда должна быть поставлена

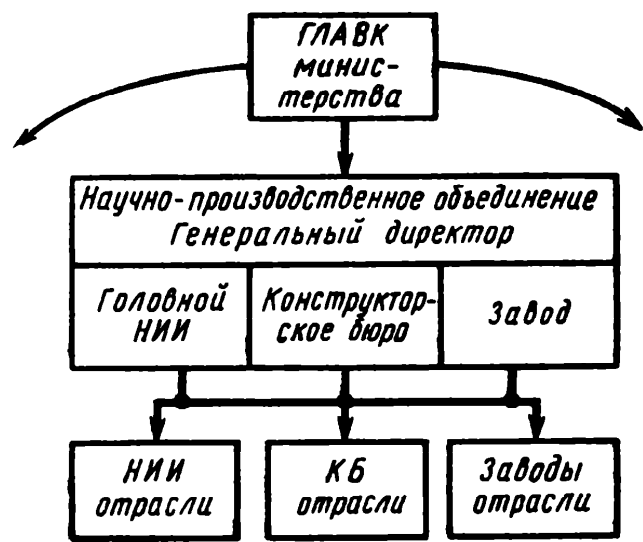


Рис. 4.3. Научно-производственное объединение и его связи с родственными предприятиями отрасли

на научную основу. Принципы научной организации труда (НОТ) нашли широкое распространение в народном хозяйстве. В условиях НПО эти принципы могут быть реализованы наиболее полно.

§ 4.4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

Практически любое современное производство все в большей степени становится автоматизированным. Сначала механизмам были переданы мускульные функции человека, затем автоматы объединили действия механизмов. В результате возникли автоматические установки, технологические линии, высокоавтоматизированные предприятия.

Следующий качественно новый шаг в направлении совершенствования производства, повышения его эффективности и качества продукции был связан с введением принципов автоматизированного управления.

Автоматизированная система отличается от *автоматической* тем, что в ее замкнутом контуре управления в качестве звена обязательно присутствует (выполняет функции) человек — оператор, руководитель, принимающий решения в непредсказуемых, экстремальных ситуациях. Народное хозяйство в целом, его отрасли и даже отдельные предприятия являются сложными многосвязными системами. Управление ими без применения средств автоматизации становится экономически неэффективным.

На службу управления в народном хозяйстве поставлены автоматизированные системы управления (АСУ). Их создание в нашей стране вытекает из логики экономического развития, необходимости приведения в действие скрытых резервов и рассматривается как важное звено в народнохозяйственной политике партии. К началу 1980 г. в СССР создано более четырех тысяч крупных автоматизированных систем управления.

Автоматизированные системы управления различаются в соответствии с их назначением. Так, существуют АСУ технологическими процессами, предприятиями (либо их отдельными функциями), объединениями предприятий, транспортом и др.

В соответствии с директивами XXV съезда КПСС в десятой пятилетке сделан большой скачок в развитии специализированной вычислительной техники, являющейся базовой при построении АСУ. Возрастает также производство и других технических средств и приборов, используемых при построении АСУ (примерно в 1,6—1,7 раза). Это создает предпосылки для дальнейшего развития автоматизации управления в нашей стране, к охвату ею все более крупных народнохозяйственных подразделе-

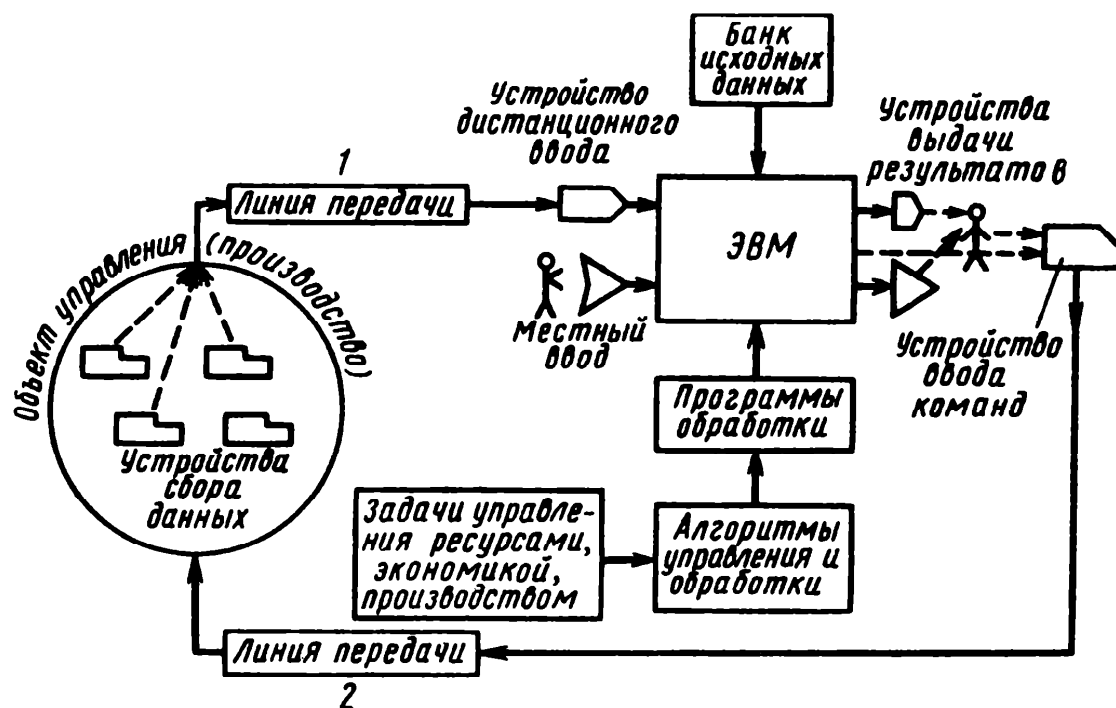


Рис. 4.4. Структурная схема АСУП

ний и регионов, для перехода к автоматизированным системам отраслей народного хозяйства и автоматизированным системам общегосударственного значения.

На рис. 4.4 приведена укрупненная функциональная схема автоматизированного управления предприятием (АСУП). Она отображает сложную систему, содержащую ряд подсистем и устройств. Центральное место в ней отводится специализированной ЭВМ. АСУП — это, в сущности, управление технологическими процессами, согласованное с требуемым и реальным состоянием производства, его ресурсами, объемом готовой продукции и т. д. В результате этого оптимальным образом решаются главные задачи: своевременный выпуск готовой продукции, отвечающей требованиям к ее качеству при допустимых издержках, а также ее своевременная реализация (отправка потребителю). Сбор данных о состоянии производственного (технологического) процесса во многих его подразделениях, о состоянии оборудования, ресурсах, объеме годовой и промежуточной продукции система осуществляет автоматически. Эта информация по линии передачи 1 поступает в ЭВМ через устройства дистанционного ввода. Сведения могут закладываться в системы хранения информации. В ЭВМ вводятся программы обработки поступающей информации, заранее подготовленные на основе логических схем производственных процессов математиками и инженерами — организаторами производства. Обработанная в ЭВМ информация через устройства выдачи результатов (в виде колонок цифр, печатного текста, изображений) поступает в распоряжение руко-

водителей предприятия или его подразделений для принятия необходимых решений. Для этого служит, в частности, система дистанционного ввода команд (линии передачи 2).

Естественно, что АСУП всего лишь средство управления в руках организаторов производства — руководящего и инженерно-технического персонала. Поэтому, какой бы совершенной ни была АСУП, ее функции предопределены той программой оптимального управления, которая разработана специалистами и направлена на достижение сформулированной ими цели управления. Таким образом, окончательное решение при управлении всегда остается за руководителями и инженерами. Они ведут наблюдение за ходом управления производством. Для этого служат терминальные устройства (дисплеи), с помощью которых можно получить на экране электронно-лучевой трубки данные о тех или иных показателях производственного процесса, материально-технических ресурсов и т. п. и при необходимости внести изменения в режим управления, т. е. принять оперативные меры по изменению технологического процесса, ускорению сбыта готовой продукции, улучшению промежуточной проверки качества продукции.

Особый класс автоматизированных систем представляют системы автоматизированного проектирования (САПР). Здесь также используют специализированную информационно-вычислительную технику на базе ЭВМ. В соответствии с решаемыми задачами создается необходимый набор специальных программ. Внедрение таких систем в практику работы радиоинженеров и инженеров других специальностей резко сокращает период разработки изделий и их производственного освоения. В ряде случаев применение САПР в сочетании с математическим моделированием позволяет исключить такой трудоемкий промежуточный этап процесса создания изделия, как проведение эксперимента на макете будущего образца. Использование САПР позволяет найти структуру и параметры конструкций, которые обычными средствами без автоматизации получить практически невозможно из-за нереально больших затрат времени.

Конечным результатом автоматизированного проектирования должна являться подготовка конструкторско-технологической документации для производства, причем документации в таком виде, который допускал бы автоматизированное управление непосредственно технологическим процессом производства разработанного изделия или его части. Такие системы проектирования, являющиеся средством создания совершенных радиоэлектронных аппаратов и радиоэлектронных систем, могут служить примерами достижений научно-технической революции.

Овладеть современным арсеналом средств проектирования и управления производством радиоинженеру помогает прежде всего его фундаментальная теоретическая и практическая подготовка, а также подготовка в области использования ЭВМ для решения инженерных задач, моделирования и управления.

Создание необходимого математического обеспечения для АСУП, САПР и других автоматизированных информационно-управляющих систем является задачей в первую очередь математиков-прикладников (инженеров-математиков). Специалистов такого профиля, очень необходимых для народного хозяйства, выпускает наша высшая школа.

Однако полностью работа по созданию математического обеспечения может быть успешно доведена до конца, т. е. до получения программ расчета, моделирования и т. д. именно радиотехнических устройств, а также программ для их проектирования и управления производством, лишь при условии тесного взаимодействия инженеров-математиков и радиоинженеров. Ключом к созданию творческой атмосферы при решении сложных инженерных задач и установлению научного и инженерного взаимопонимания специалистов различных профилей является глубокая фундаментальная и специальная подготовка современных радиоинженеров.

Уровень подготовки, которую радиоинженер получает в вузах страны, такой, что он ценой некоторых дополнительных усилий может успешно справляться и с функциями инженера-математика. Таким образом, современного радиоинженера можно охарактеризовать с еще одной важной стороны — он является не только пользователем автоматизированных систем, но нередко выступает в роли участника создания специализированных программ для ЭВМ применительно к задачам радиоаппаратостроения.

§ 4.5. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА КАЧЕСТВО

Качество продукции — одна из главных ее характеристик. Ненадежно работающий телевизор или радиоприемник может быть упреком их разработчикам и организаторам производства. Но ведь многие изделия радиопромышленности выполняют функции намного более ответственные (например, система связи с космическими кораблями, навигационные системы), нежели передача телевизионных программ или радиовещание. Поэтому совершенно очевидно, что качество изделий должно быть высоким. Это не только повседневное, но и нацеленное в будущее требование, вытекающее из долговременной социально-экономической программы развития нашего общества.

За качество изделия ответственны все участники его создания, все работники предприятий-поставщиков полуфабрикатов и материалов. Это и руководитель предприятия — директор, который несет ответственность за качество наряду с ответственностью за другие показатели предприятия, и главный инженер — непосредственный организатор всех служб, участвующих в производстве и определяющих качество изделий.

Ответственным за качество является и радиоинженер — разработчик, организатор производства, руководитель испытаний, поскольку ему принадлежит ведущая роль при производстве радиоаппаратуры.

Разработчик изделия или системы «сопровождает» свое «детище» и в процессе производства, сотрудничая при этом с инженерами других специальностей, составляющими инженерно-технический персонал производственного предприятия. Это технологи различных профилей, химики-гальваники, специалисты по обработке материалов, настройщики аппаратуры, регулировщики и испытатели приборов и многие другие.

В ходе реализации последовательности производственных технологических операций, а также при контроле и испытаниях первых образцов обычно выявляют ряд факторов, не учтенных на этапах проектирования и конструирования. Это требует внесения соответствующих изменений в проект изделия, в конструкторско-технологические решения. В такой ситуации радиоинженеры-разработчики должны найти приемлемую альтернативу, свободную от выявленных дефектов и отвечающую требованиям к качеству. Ее поиск и устранение «узких мест» в конечном счете является общим делом проектировщиков и производственников. Однако решающее слово остается за радиоинженером-разработчиком, за главным конструктором системы или изделия.

С учетом того, что радиотехническое производство является полиинженерным, т. е. основанным на сочетании разнообразных технологических процессов и приемов, легко понять, почему функции радиоинженера как разработчика, так и главного конструктора или руководителя участка производства являются не только в высшей степени ответственными, но и сложными, требующими высокой квалификации и широкой инженерной эрудиции. Высшая радиотехническая школа в СССР стремится подготовить именно таких специалистов.

На Всесоюзном совещании работников высших учебных заведений, проходившем в Кремле 6—8 февраля 1980 г., Президент АН СССР, академик А. П. Александров говорил, что нет такой технологии или такого прибора, которые не могли бы быть созданы в нашей стране.

Глава 5

НА ПУТИ К ИНЖЕНЕРНОМУ ЗВАНИЮ

Современный специалист — это человек высокой культуры, широкой эрудиции, в общем, это настоящий интеллигент нового социалистического общества.

Л. И. Брежнев

§ 5.1. ПОЧЕМУ ВЫБИРАЮТ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ РАДИОИНЖЕНЕРА

Проблема выбора — это проблема принятия решений, больших или малых, в зависимости от последствий выбора и ситуаций, в которых принимается решение. По-видимому, выбор специальности следует отнести к категории значительных, важных, в большой степени определяющих жизненную дорогу человека, его положение в обществе. Опыт показывает, что, как правило, специальность выбирается один раз в жизни. Намного реже, и такие явления с полным основанием можно отнести к исключениям из правила, человек меняет специальность. Сказанное относится в первую очередь к специальностям, приобретение которых связано с большой затратой усилий и продолжительного времени.

Чтобы избежать разочарования в будущем, выбор специальности должен быть обоснованным. Для этого вовсе не обязательно, чтобы избираемая специальность относилась к сверхновым и тем более к «модным». Если бы это было так, то поступающие в высшие учебные заведения должны были бы создать невероятный конкурс на специальностях, относящихся к таким областям, как автоматизированные системы управления, космические системы и аппараты, ядерная энергетика, оптическая и квантовая электроника, автоматика и, конечно же, радиоэлектронные аппараты и системы различного назначения. Как следствие этого, мог бы образоваться острый дефицит при приеме на «старые» специальности, «мода» на которые (но не потребность в специалистах) может быть и прошла. Однако в действительности такого положения в основном нет. Это объясняется тем, что выбор специальности обычно делается с учетом многих факторов, т. е. в значительной мере сознательно.

Для осознанного выбора специальности необходимо достаточно конкретно представлять область и содержание своей будущей деятельности, объект труда, научные методы и технологические приемы, приводящие к конечной цели (для инженера — созданию аппаратуры и систем). Для овладения комплексом знаний, навыков и умения специалист должен пройти определенную подготовку. Приблизительное содержание, ее последовательность и особенности должны быть также известны молодому человеку, избирающему специальность и тем более уже ее избравшему. Источниками необходимой информации являются популярные книги и статьи по выбираемой специальности, научно-популярные фильмы, личная практика конструктора-любителя, опыт и знания старших товарищей, родителей, посещение «дней открытых дверей» в учебных заведениях и т. д.

Неоценимы в этой части различные формы практики, связанной с современным производством. Режим обучения в средней школе в значительной степени этому способствует. Глубокие размышления над будущей специальностью необходимы при ее выборе, но этот процесс не должен прекращаться и после поступления в вуз. Только при этом условии процесс формирования инженера становится продуктивным.

В данной книге речь идет не о выборе специальности вообще, а о выборе специальности ради о и н ж е н е р а.

В самом деле, поставьте себе вопрос: «Почему я хочу стать радиоинженером? Почему я выбираю именно эту специальность?»

Ответить на данный вопрос в нескольких словах едва ли возможно. Как было показано в предыдущих главах, радиотехника (радиоэлектроника) — это динамичная, увлекательная область техники. Радиопромышленность — это обширная отрасль народного хозяйства. Как наука, радиоэлектроника многогранна, она интенсивно развивается и непрерывно совершенствует свои методы исследования, опирается на новейшие достижения физики и математики. Но, по-видимому, аналогично можно было бы охарактеризовать и многие другие отрасли науки, техники и народного хозяйства. Поэтому, отвечая на поставленный вопрос в не слишком пространной форме, лучше всего обратиться к характеристике радиоинженера или, как принято говорить в настоящее время, к модели специалиста.

Модель специалиста — это некоторый комплекс показателей качества, сформулированный исходя из сложившейся практики подготовки специалистов в вузах, опыта их использования в народном хозяйстве и, что особенно важно, с учетом перспектив развития науки, техники и потребностей народного хозяйства.

В соответствии с моделью специалиста строится учебно-воспитательный процесс в вузе, моделью определяется его целевая функция. Определение модели — задача не простая. Не простая прежде всего потому, что на ее решение наложен ряд весьма существенных ограничений, таких, как продолжительность обучения (около пяти лет), психофизиологические возможности восприятия информации человеком, стоимость обучения и ряд других. Только с учетом этих условий можно реально разрабатывать модель специалиста.

Ее разработку поручают ведущим профессорам и преподавателям совместно с опытными представителями радиотехнической отрасли народного хозяйства. Разработанная таким образом модель определяет содержание подготовки специалиста и его место на производстве. Какие же компоненты составляют модель радиоинженера, что должно характеризовать его как участника целенаправленной деятельности трудового коллектива и общества в целом? Главными компонентами такой модели являются: область деятельности, функции специалиста в народном хозяйстве; прочный фундамент образования; инженерная коммуни-кабельность; высокая идейная зрелость. Остановимся на них подробнее.

Область деятельности и главная функция радиоинженера — это разработка новых, ранее не существовавших устройств и радиотехнических систем, либо модернизация уже существующих, а также организация соответствующего производства. Из первых глав на основе рассмотренных примеров читатель составил представление о конечном продукте и объекте труда радиоинженера. Обычно это комплекс (система) взаимодействующих между собой радиоэлектронных устройств большей или меньшей сложности, решающих в своей совокупности определенные, вытекающие из их назначения, задачи.

Круг таких задач весьма широк. Главные из них: наблюдение различных объектов в пространстве и их классификация (извлечение информации о пространстве); передача данных различного физического содержания (передача информации). Следует выделить также такие задачи, как трансляция радиовещательных и телевизионных программ с использованием искусственных спутников Земли, решение навигационных задач (часто также с помощью ИСЗ), управление движением объектов (космическими аппаратами, самолетами, надводными и подводными кораблями, железнодорожным и автомобильным транспортом). Радиоэлектронные системы широко используют как инструмент физических и медико-биологических исследований. Так, широкое распространение получили радиотехнические системы исследо-

вания космического пространства, системы для оценки параметров «четвертого состояния» вещества — плазмы, различные радиотехнические системы для геофизических исследований.

Широко применяют миниатюрные системы для анализа жизнедеятельности органов животных и человека в нормальных и экстремальных условиях. Радиоэлектроника находит применение в спорте для анализа функционирования организма человека в различных режимах нагрузки, координации движений, для разработки оптимальных режимов тренировки, а также для автоматической и высокоточной регистрации результатов.

Сфера обитания человеческого общества буквально насыщена средствами радиоэлектроники. Создано и продолжают создавать большое число аппаратов и систем различного назначения. Работая одновременно и в непосредственной близости между собой (возьмите, к примеру, такие объекты, как самолет, морское судно, космический корабль), они должны надежно, не мешая друг другу, выполнять свои функции. В этой связи уже давно возникла практическая задача: как сделать, чтобы взаимные помехи не превышали допустимого уровня.

В простейших случаях, как мы знаем, необходимо использовать для этого различные участки диапазонов волн, т. е. осуществлять частотную селекцию колебаний. Но при настоящих требованиях к радиосистемам и высокой степени их концентрации только такие меры оказываются недостаточными. Данную проблему, именуемую *проблемой электромагнитной совместимости*, радиоинженеру приходится решать комплексно, с учетом многих возможных каналов взаимного нежелательного влияния, искать для этого новые научно-технические решения и даже принципы действия. Это одна из актуальнейших проблем современной радиоэлектроники. Создавая «свою» систему, инженер должен позаботиться о том, чтобы не нарушить работу других. В определенном смысле любая новая система должна быть «чистой», не должна «загрязнять» среду, в которой функционируют другие системы. В первую очередь, не следует создавать лишних систем, а стремиться к более полному использованию уже существующих.

Вообще же, перед радиоинженером возникают всегда новые, часто непредвиденные заранее задачи, и несмотря на это, необходимо быть подготовленным к их решению.

Хотя существует большое разнообразие радиотехнических систем, их элементы часто весьма сходны по принципу действия. Это генераторы колебаний различных типов, усилители, антенные и волноводные устройства, модуляторы, устройства преобразования и обработки информации на основе ЭВМ и др. В зави-

симости от назначения системы входящие в нее устройства могут иметь совершенно различные характеристики, однако почти всегда совпадающие или близкие принципы действия. Последнее обстоятельство является весьма существенным. Оно позволяет на основе достаточно общей научной теории подготовить радиоинженера к проектированию систем различного назначения, в том числе и таких, область применения которых пока, быть может, трудно предвидеть.

Объектом труда радиоинженера являются разнообразные радиоэлектронные устройства, образующие, как правило, радиотехнические системы. Как отмечалось выше, радиоинженер обычно является главной фигурой в процессе их создания, начиная с этапа формирования замысла и определения принципа действия системы и кончая внедрением изделий в производство и испытанием в составе системы.

Промежуточные этапы создания аппаратуры весьма важны и ответственны, и в них основную роль играет радиоинженер. Это и проектирование, и расчеты, и моделирование систем и устройств с применением ЭВМ, и подготовка конструкторской документации, макетирование образцов, проведение лабораторного эксперимента, полевых испытаний и организация производства. Для выполнения таких работ радиоинженер должен быть хорошо теоретически и практически подготовлен, уметь пользоваться ЭВМ, иметь широкий кругозор.

Прочный фундамент образования — это та основа, на которую опираются инженерные навыки. В период интенсивного развития всех отраслей производства, науки и техники, т. е. в переживаемую нами эпоху научно-технической революции, происходит быстрое обновление знаний, изменение технологических методов, в том числе и в радиотехнической отрасли. Поскольку подготовка инженеров занимает время (4—5 лет — весьма значительный срок при современных темпах развития), то специалиста в народном хозяйстве могут ждать задачи, с которыми в процессе обучения познакомиться объективно не представлялось возможным. Чтобы и в такой ситуации специалист чувствовал себя достаточно уверенно, он должен обладать качеством, которое принято называть *фундаментальностью подготовки и широким кругозором*.

В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О дальнейшем развитии высшей школы и повышении качества подготовки специалистов», принятом в 1979 г., указывается на необходимость повышения значимости фундаментальных наук в теоретической и профессиональной подготовке специалистов широкого профиля. Формирование такого специалиста основано

на глубоком изучении физических явлений и овладении современным математическим аппаратом, включая его важнейшую прикладную отрасль — вычислительную математику и программирование задач на ЭВМ.

Физико-математической подготовке радиоинженеров в вузах страны уделяется большое внимание. Здесь уместно заметить, что в результате этого многие из выпускников радиотехнических факультетов, посвятившие себя научной деятельности, подготавливают кандидатские (и докторские!) диссертации в области не только технических, но и физико-математических наук.

В радиотехнических вузах на первых курсах студенты глубоко изучают электричество, магнетизм, основные законы электромагнитного поля. Для решения современных и перспективных задач, возникающих перед радиоинженерами, очень важно хорошо знать строение вещества и, особенно физику твердого тела и квантовую механику. С использованием принципов, рассматриваемых в этих областях, работают многие электронные приборы и устройства — усилители, генераторы, преобразователи колебаний, а также особый класс генераторов — квантовые генераторы, имеющие чрезвычайно высокую стабильность частоты колебаний. В последние годы получили развитие новые и очень важные направления: акусто- и оптоэлектроника, основанные на использовании явлений взаимодействия электромагнитной волны со средой распространения.

Создавая новые аппараты и системы, радиоинженер не может ограничиваться познаниями, пусть даже весьма глубокими, только в области электричества, магнетизма, физики твердого тела. Его кругозор должен быть существенно шире, иначе созданные им изделия в реальных условиях не смогут функционировать надежно. Поэтому программа по физике предусматривает изучение студентами основных законов термодинамики, механики, волновой оптики, квантовой природы излучения и специальной теории относительности.

С первых дней пребывания в институте студент погружается в увлекательный мир математических утверждений (аксиом), теорем и их доказательств, постепенно вооружаясь аппаратом анализа и расчета. Этот аппарат далее должен быть не только сохранен как средство инженерного труда, но и по мере возникновения конкретных практических задач развит применительно к ним. Мало выучить математику, ее необходимо глубоко познать, превратить, если можно так выразиться, в сферу своего обитания. В этом случае можно гарантировать, что никакие новые задачи специалиста не застанут врасплох.

Наряду с фундаментальными разделами математики студенты изучают численные методы решения задач, а также программирование на ЭВМ. В процессе обучения и, конечно, в ходе будущей практической деятельности возникает необходимость регулярного общения с ЭВМ как надежным инструментом решения современных инженерных задач.

Общий объем физико-математической подготовки по радиотехническим специальностям весьма значителен и составляет почти 1000 часов только аудиторных занятий (лекций, упражнений, лабораторных занятий).

Практическая деятельность инженера основана на анализе, на строгих или приближенных расчетах. Поэтому специальные инженерные дисциплины, которые изучаются на старших курсах, в значительной степени опираются на математический аппарат. Следовательно, освоение радиоинженерной специальности предполагает глубокое изучение современной математики и применение ее методов применительно к задачам радиоаппаратостроения. В еще большей степени математикой насыщена радиоэлектроника, как наука. Опыт показывает, что радиоинженеры, достигшие заметных успехов в своей практической деятельности, хорошо владеют математикой.

Фундаментальность образования обеспечивается также глубоким изучением ряда профилирующих дисциплин, ориентированных на специальность и составляющих основу специальности. Это теория цепей и сигналов, электродинамика, электронные и квантовые приборы, теория автоматического регулирования. Эти дисциплины образуют некий «мост», переброшенный между физико-математическим циклом и циклом инженерных дисциплин на старших курсах.

В процессе создания нового изделия обычно решают задачи выбора оптимального, предпочтительного варианта. Выбор основывается на сопоставлении ряда возможных решений, каждое из которых имеет достоинства и недостатки.

Изделие (система) может быть весьма надежным и физически долговечным, однако дорогим в проектировании и производстве. Всякой системе грозит «моральное» старение, которое может привести к преждевременному (по экономическим соображениям) прекращению ее производства. В радиоэлектронике действие данного фактора оказывается очень ощутимым. Следовательно, значительные начальные затраты и издержки могут оказаться не оправданными.

Правильную ориентацию в сложной обстановке выбора решений инженеру всегда помогает выработать владение диалектическим методом. Рассматривая складывающуюся си-

туацию (спрос, потребность в изделии, стоимостные характеристики, компонентную базу, инженерно-эстетические требования и т. д.) в ее совокупности и не как застывшую, а имеющую определенные тенденции к изменению, инженер должен обоснованно и с общих позиций выбрать наилучшее решение.

Любое решение является единством противоположных качеств: достоинств и недостатков. Грамотный учет этого общего положения, свойственного материальному миру, освобождает инженера от бесплодных поисков «идеальных», в принципе не существующих, вариантов.

Разрабатываемое изделие обычно взаимодействует с другими, входя в состав системы. Достоинства и недостатки отдельных изделий по-разному влияют на качество системы в целом. Поэтому при проектировании изделий и систем радиоинженер пользуется системным подходом. *Системный подход* при проектировании — это использование важнейшего положения диалектики о взаимосвязи явлений в природе.

Таким образом, радиоинженер должен глубоко и «овеществленно» понимать содержание основных положений материалистической философии, владеть ее главным инструментом — диалектическим методом познания.

Марксистско-ленинскую философию студенты изучают в начальный период обучения (обычно на втором курсе). В ходе изучения специальных дисциплин, при выполнении курсовых и дипломных проектов они используют (с направляющим участием преподавателей) и развивают накопленный теоретический багаж применительно к конкретным задачам.

Необходимо выделить одну, весьма важную, черту фундамента радиоинженерной специальности. Она состоит во владении современными методами радиотехнических измерений. Любая практическая и научная деятельность радиоинженера непосредственно связана с проведением разнообразных измерительных операций. Измерениям подвергаются параметры сигналов — амплитуда, частота, фаза, длительность сигнала, период его повторения, направление прихода, задержка за счет распространения и т. д. Широко распространены в повседневной практике инженера измерение статистических характеристик случайных колебаний, измерение с помощью радиоволн физических параметров материалов и среды распространения. В радиоэлектронике измерения должны отличаться высокой точностью. Наука об измерениях называется метрологией. Радиоинженер должен в полной степени владеть ее методами, уметь грамотно поставить эксперимент. Для этого необходимо выбрать состав измерительных приборов, произвести измерения и осуществить

обработку их результатов. Весьма часто приходится обосновывать и саму методику эксперимента. Данная сторона подготовки радиоинженера обеспечивается практически всеми инженерными дисциплинами, обширным лабораторным практикумом, а также специальной дисциплиной, посвященной общим проблемам и теории радиотехнических измерений.

Подводя итог, можно сказать, что фундаментальность подготовки и широта профиля определяются высоким уровнем физико-математического образования, глубокими знаниями основных принципов своей специальности и владением диалектическим методом.

Инженерная коммуникабельность. В производстве радиоаппаратуры заняты специалисты многих отраслей техники. Главную роль в этом процессе играет радиоинженер. Однако при всей широте и глубине образования от него нельзя требовать специальных знаний в области, например, точной механики, металлообработки, химии, гальваники и т. д. Поэтому вместе с радиоинженерами непосредственное участие в создании радиоаппаратов принимают инженеры-механики, инженеры-гальваники, инженеры-конструкторы, технологи точного приборостроения и ряд специалистов других профилей. Таким образом, на всех этапах создания радиоаппаратуры, и особенно при ее конструировании и организации технологического процесса, радиоинженер непрерывно взаимодействует с инженерами смежных специальностей, обеспечивая реализацию проекта изделия.

Такое целенаправленное взаимодействие возможно, если в коллективе разработчиков, конструкторов, технологов имеется общее понимание особенностей главной задачи, особенностей изделия. Поэтому радиоинженер, ведущий разработку, должен донести до каждого исполнителя требования, которые предъявляет проект изделия к содержанию и качеству выполняемых ими производственных функций, допустимость и недопустимость отклонения от первоначально разработанных технологических операций, замены материалов и комплектующих изделий, способов промежуточных испытаний и т. д. Для того чтобы должным образом руководить процессом изготовления радиоаппаратуры, радиоинженер должен быть хорошо осведомлен о характере деятельности своих соисполнителей. Ключом к этому также является хорошая базовая подготовка. Она позволяет радиоинженеру по мере «вживания» его в решение производственных задач в достаточной степени проникать в сущность труда инженеров смежных специальностей. В этом же радиоинженеру помогает изучение ряда специальных дисциплин конструкторско-технологического и организационно-производственного профиля. Особо

важную роль играет производственная практика в период учебы на предприятиях радиотехнической отрасли. Объем такой практики весьма значителен.

Весь этот комплекс и наделяет радиоинженера качеством инженерной коммуникабельности, т. е. способностью творческого производственного общения с представителями других специальностей.

Вне зависимости от конкретной области деятельности специалист решает производственные или научные задачи, являющиеся частью народнохозяйственной деятельности общества в целом, сознавая ближайшие и перспективные цели общества, понимая необходимость своего труда для общества. Иными словами, любого специалиста, радиоинженера в том числе, должна отличать высокая идейная зрелость. А это означает высокий уровень сознательности, преданность идеалам коммунистического строительства, любовь к Родине, патриотизм, коллективизм, чувство интернациональной солидарности с трудящимися всех стран. Современный специалист должен быть глубоко нравственным человеком, носителем социалистической культуры.

Основой идейного воспитания в вузе является глубокое изучение марксистско-ленинской теории. Для этого предусмотрен ряд дисциплин: история КПСС, марксистско-ленинская философия, политическая экономия, научный коммунизм. Полученные знания дополняются общественной практикой студентов, формы которой весьма разнообразны: участие в повседневной общественной работе, в строительных и сельскохозяйственных отрядах и в других видах общественно полезной работы.

Заключая рассмотрение главных черт советского радиоинженера, как специалиста, нам хотелось бы привести слова Л. И. Брежнева, сказанные им на Всесоюзном слете студентов, в которых с большой полнотой дана характеристика советского специалиста: «Советский специалист сегодня — это человек, который хорошо овладел основами марксистско-ленинского учения, ясно видит политические цели партии и страны, имеет широкую научную и практическую подготовку, в совершенстве овладел своей специальностью.

Советский специалист сегодня — это умелый организатор, способный на практике применить принципы научной организации труда. Он умеет работать с людьми, ценить коллективный опыт, прислушиваться к мнению товарищей, критически оценивать достигнутое».

Совершенно ясно, что данные требования полностью относятся к специалистам по радиоэлектронике. Можно лишь подчеркнуть, что воспитанные советской высшей школой радио-

инженеры всегда были проводниками технического прогресса, находились и находятся в первых рядах строителей коммунистического общества.

Мы обрисовали в основных чертах модель радиоинженера. Ознакомившись с ней и дополнив эти основные, но краткие сведения информацией из других источников (книг, лекций, выставок и т. д.), молодой человек может осознанно прокладывать дорогу к своей будущей специальности — специальности радиоинженера.

§ 5.2. ВЫСШАЯ ШКОЛА В СИСТЕМЕ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Одним из замечательных достижений нашего общества является коренное изменение содержания, формы и самого смысла образования. В нашей стране среднее образование (общее или специализированное) является обязательным для всех граждан. Без необходимого образовательного ценза замедляется темп развития общества, его экономики, культуры, науки. Средняя школа готовит своих выпускников к работе в системе народного хозяйства. Одновременно создается хорошая основа для пополнения высшей школы. Право на высшее образование имеют все граждане страны, это право закреплено Конституцией СССР. Высшим образованием в нашей стране непрерывно охвачено более 5 млн. человек. Оно превратилось в один из важнейших факторов, определяющих ускоренное развитие социалистической экономики и культуры.

Радиотехника — сравнительно молодая отрасль техники, а потому и сравнительно молодо это направление подготовки специалистов с высшим образованием. Так, одному из старейших факультетов в нашей стране — радиотехническому факультету Московского энергетического института, деканом которого длительное время являлся В. А. Котельников, в 1978 г. исполнилось только 40 лет.

Радиоинженерную специальность можно было получить и ранее. Обычно выпуск таких специалистов был невелик, а их подготовка проводилась на базе электротехнических специальностей. К концу 40-годов в стране еще не было ни одного специализированного высшего радиоинженерного учебного заведения. Подготовка кадров для страны в это время обеспечивалась несколькими радиотехническими факультетами в нерадиотехнических вузах либо даже отдельными кафедрами.

Масштабы задач, поставленных перед радиопромышленностью, требовали расширения подготовки радиоинженеров. На-

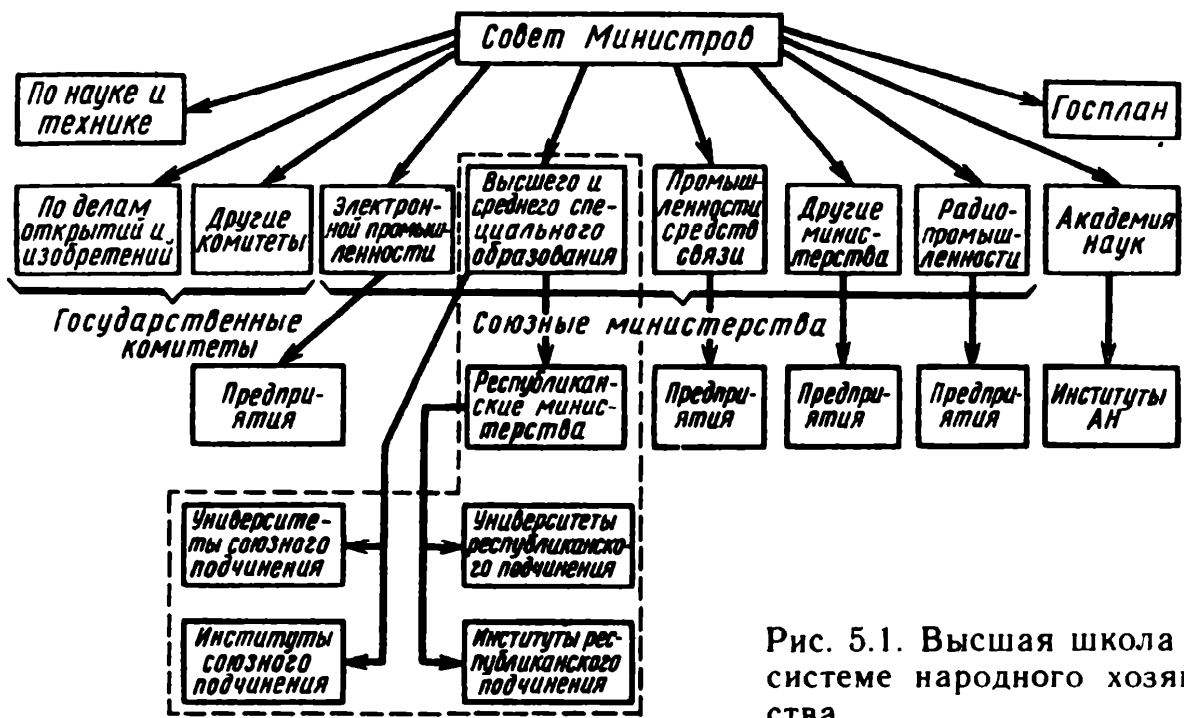


Рис. 5.1. Высшая школа в системе народного хозяйства

чало 50-годов было ознаменовано созданием первого радиотехнического высшего учебного заведения — Таганрогского радиотехнического института, ныне носящего имя одного из выдающихся организаторов радиотехнической промышленности в нашей стране В. Д. Калмыкова.

В настоящее время наряду со старейшими радиотехническими факультетами, а также отдельными факультетами и кафедрами радиотехнического профиля, созданными в политехнических вузах в послевоенные годы, действует уже несколько специализированных радиотехнических институтов (в Москве, Минске, Таганроге, Харькове, Рязани).

Высшая школа является неотъемлемой частью народнохозяйственной системы нашей страны (рис. 5.1).

Министерство высшего и среднего специального образования СССР (Минвуз СССР) обеспечивает кадрами предприятия народного хозяйства, а также сферы науки и культуры по 387 специальностям. В подчинении Минвуза СССР находятся республиканские министерства высшего и среднего специального образования со своими вузами. Часть вузов (обычно это крупные институты и университеты) находятся в прямом подчинении Минвуза СССР*. Общее количество высших учебных заведений в нашей

* Небольшое количество высших учебных заведений, узкоспециализированных на конкретные отрасли народного хозяйства (связь, морской флот, здравоохранение, бытовое обслуживание и др.) административно управляются непосредственно соответствующими министерствами. Однако при этом за Минвузом СССР сохраняются методические и другие координирующие функции.

стране около 870, из них более 30 находится в прямом подчинении Минвуза СССР.

Подготовка радиоинженеров производится более чем в 40 вузах страны. Часть из них находится в прямом подчинении Минвуза СССР (Московский энергетический институт, Московский авиационный институт им. Серго Орджоникидзе, Челябинский политехнический институт им. Ленинского комсомола, Харьковский авиационный институт им. Н. Е. Жуковского).

Содержание и направленность подготовки специалистов в высших учебных заведениях тесным образом связаны с требованиями потребителей специалистов—предприятий и учреждений различных отраслей народного хозяйства.

Между вузами и предприятиями имеются прямые связи. Так, в вузах радиотехнического профиля по широкой программе ведется научно-исследовательская работа по договорам с учреждениями и промышленными предприятиями Минрадиопрома, Минсудпрома, Минпромсвязи и ряда других министерств. Студенты радиотехнических специальностей проходят производственную практику в цехах и конструкторских бюро заводов, в лабораториях научно-исследовательских институтов промышленных министерств и Академии наук СССР. В вузах страны преподают крупнейшие специалисты — ведущие инженеры, конструкторы, ученые.

В ряде вузов страны созданы курсы повышения квалификации работников промышленности, ведется их переподготовка в соответствии с новыми тенденциями развития науки, техники и технологии. Таким образом осуществляется взаимное и благотворное влияние сфер подготовки специалистов и их использования в народном хозяйстве.

Система высшего образования — это сложный комплекс, обеспечивающий подготовку большого числа высококвалифицированных специалистов для различных отраслей народного хозяйства, воспитания в них гражданственности, патриотизма, высокой идейности. Ежегодно стены вузов покидает около 800 тыс. молодых специалистов.

Вместе с тем в вузах страны выполняют большие по объему и важные для народного хозяйства научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Эффективное управление такой системой в современных условиях возможно лишь с использованием средств автоматизации. По этой причине начиная с девятой пятилетки в вузах страны, как и в системе народного хозяйства в целом, внедряются системы автоматизированного управления (АСУ), применение которых обеспечивает оперативность управления, быстроту выдачи

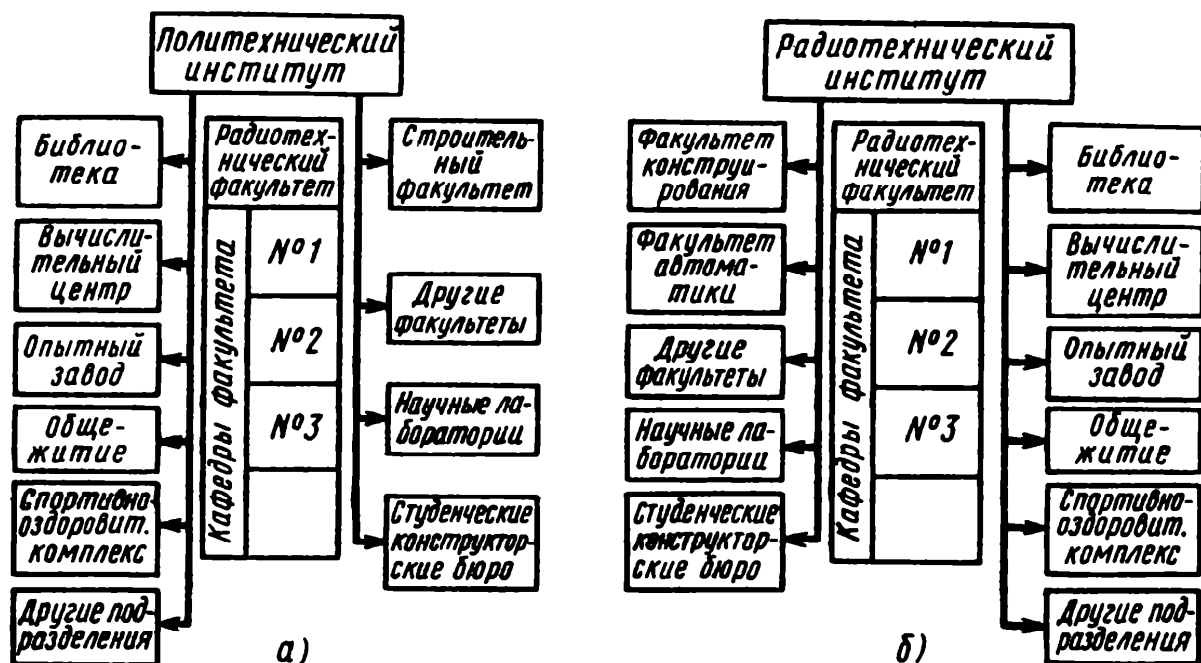


Рис. 5.2. Структурные схемы вузов

данных о состоянии системы и принятие оптимальных решений.

Автоматизированные системы находят широкое применение и непосредственно в учебном процессе. Они используются при контроле качества усвоения и понимания материала, в качестве репетиторов.

Среди современных высших технических учебных заведений, осуществляющих подготовку радиоинженеров, можно выделить вузы двух типов.

На рис. 5.2, а изображена схема *политехнического института*, в составе которого находится радиотехнический (либо с аналогичным названием) факультет. Такие институты выпускают специалистов по широкой номенклатуре инженерных специальностей. К ним относятся, например, Челябинский, Красноярский, Каунасский и другие политехнические институты.

С большим основанием к политехническим институтам можно отнести и такие широко известные вузы, как МВТУ им. Н. Э. Баумана, Московский энергетический институт.

На рис. 5.2, б показана *схема вуза, специализированного на подготовку радиоинженеров и специалистов родственных профилей* (автоматики, автоматизированных систем управления, электронных и полупроводниковых приборов и т. д.).

Обе структуры сходны между собой. Существенное различие состоит лишь в конкретном профиле их отдельных подразделений.

§ 5.3. УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ КОМПЛЕКС ИНСТИТУТА

Современные высшие учебные заведения развиваются на основе единства учебно-воспитательного процесса и научных исследований для народного хозяйства.

В апреле 1978 г. было принято важное постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О повышении эффективности научно-исследовательской работы в высших учебных заведениях». Оно направлено на решение жизненно важной для высшей школы и многообещающей для народного хозяйства страны проблемы эффективного использования научного потенциала вузовских коллективов. Это постановление, а также постановление «О дальнейшем развитии высшей школы и повышении качества подготовки специалистов» (1979 г.) содержат конкретные программы реализации политики партии в области образования и подготовки высококвалифицированных специалистов для народного хозяйства и ставят перед вузовскими коллективами, профессорами, преподавателями, а также студентами большие и чрезвычайно ответственные задачи.

В стенах высшей школы работает около половины общего числа научных работников нашей страны. Это большой отряд квалифицированных исследователей и педагогов.

Развитие научных исследований и решение конкретных народнохозяйственных задач именно в высшей школе наполняет учебный процесс современным содержанием, объективно способствует обновлению лабораторной базы учебных заведений.

Представляется также весьма важным, что в научную работу вовлекаются массы студентов. Они рано приобщаются к самостоятельной исследовательской деятельности и, если можно так выразиться, познают себя, как будущих инженеров и исследователей. Научная работа сближает студентов с профессорами и преподавателями, творчески объединяет их.

Деятельность профессоров и преподавателей предопределяется в первую очередь их учебно-воспитательными функциями. В соответствии с этим они объединены кафедрами, которые играют в учебном процессе института и выполнении научных исследований весьма значительную роль и которые определены, как главные звенья высшего учебного заведения.

Специальную подготовку будущих радиоинженеров обеспечивают соответствующие кафедры. Наименования кафедр на радиотехнических факультетах различных вузов часто не совпадают. Однако они всегда отражают отдельные этапы подготовки специалистов. Можно, например, встретить такие названия: «Кафедра теоретических основ радиотехники», «Кафедра радио-

технических устройств», «Кафедра антенных устройств и распространения радиоволн», «Кафедра конструирования радиоаппаратуры».

Как правило, кафедру возглавляет крупный специалист, известный своими научными трудами, опытом проектирования и производства радиоэлектронной аппаратуры и радиосистем. Нередко руководитель кафедры может гордиться созданной им школой своих последователей — молодых ученых и педагогов.

Объединения преподавателей нередко носят и межкафедральный характер. Основой для такого сотрудничества являются крупные научно-исследовательские работы по особо актуальной и комплексной тематике, выходящие за пределы одной кафедры. Иногда на базе таких работ создаются *межкафедральные* научные (так называемые проблемные или отраслевые) лаборатории.

Ряд родственных кафедр образуют **факультет**. Факультет возглавляет *декан факультета* (деканом может быть и заведующий одной из кафедр). На декана и его, как правило, небольшой аппарат заместителей и начальников курсов возлагаются функции руководства кафедрами и всем комплексом учебно-воспитательной и научной работы. Руководители факультета совместно с кафедрами обеспечивают необходимое содержание подготовки специалистов и его качество. При декане действует методический Совет факультета — совещательный орган, рассматривающий принципиальные вопросы состояния и перспектив подготовки специалистов.

Деятельность факультетов направляет *ректор института* и его заместители (проректоры). В состав института кроме факультетов и отдельных кафедр прямого подчинения входит и ряд других подразделений, обеспечивающих его учебно-воспитательную и научную деятельность. Важнейшие из них — библиотека, вычислительный центр, общежитие для иногородних студентов, спортивные, культурные подразделения и др.

Администрация института работает в тесном взаимодействии с партийной, комсомольской и профсоюзной организациями. Их роль в жизни института непрерывно возрастает.

После известной встречи Л. И. Брежнева с представителями советского студенчества, когда были сформулированы задачи молодежи, посвятившей себя интеллектуальному труду, в партию усилился приток студенческой молодежи. В настоящее время в вузовских партийных организациях плечом к плечу с ветеранами активно работает большой отряд студентов-коммунистов, лучших представителей студенчества.

Лицо, авторитет любого вуза, факультета, кафедры (радиоэлектронных в том числе) определяется качеством подготовки специалистов, уровнем развития методической работы, состоянием и практической ценностью научных исследований. Многие радиотехнические учебные подразделения (и не только старейшие) заслуженно завоевали широкое признание в нашей стране и за ее пределами. Уровень деятельности высшего учебного заведения проявляется и в подготовке и защитах диссертаций его воспитанниками. Инженеры, недавние выпускники института нередко посвящают себя научной работе, становятся кандидатами и докторами наук.

Признание приходит не сразу. Оно является плодом настойчивой повседневной работы, постоянного научного поиска. Период «созревания» ученого определить трудно. Все зависит от личности, от условий работы, от содержания проблемы. В среднем в области радиоэлектроники настойчивый инженер может подготовить кандидатскую диссертацию за 5—8 лет (обучаясь в очной или заочной аспирантуре, имеющейся при большинстве вузов и на многих предприятиях или выполняя научную работу самостоятельно). Успех достижения поставленной цели связан с актуальностью решаемой научной задачи, ее значимостью для практики.

При подготовке докторской диссертации будущий соискатель обычно возглавляет какое-либо актуальнейшее научное направление, которое он разрабатывает совместно со своими учениками и последователями. Высшая радиотехническая школа активно участвует в подготовке докторов наук.

Решение вопросов присвоения ученых степеней в нашей стране поручено специализированным Советам, утверждаемым Высшей аттестационной комиссией при Совете Министров СССР. Такие Советы создаются при вузах и научно-исследовательских институтах. Наиболее авторитетные радиотехнические высшие учебные заведения — факультеты и институты имеют специализированные Советы, получившие право присуждать ученые степени.

§ 5.4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Вузовский учебный процесс во многом отличается от школьного. Различие обусловлено в первую очередь различием задач, которые решают средняя школа и высшее учебное заведение (например, инженерный институт). В средней школе преследуется главным образом цель привить ученикам познания основных законов материального мира, воспитать их, привить им

необходимую в соответствии с требованиями социалистического общества культуру. Выпускники специальной средней школы (ПТУ) при этом получают и рабочую квалификацию.

В инженерном вузе будущий специалист овладевает *методами создания изделий* по заданным техническим условиям с учетом эксплуатационных, экономических, эстетических факторов. Полученные знания позволяют инженеру нередко самому определять характер технических требований на изделие. *Деятельность инженера* — творчество, синтез знаний, материалов, изделий широкого применения (так называемой компонентной базы), технологий, в ходе которых создаются новые, не существовавшие ранее приборы различного назначения.

По этой причине вузовский учебный процесс с самого начала пронизан атмосферой творчества. При этом студенту предоставляется большая *самостоятельность* в решении поставленных перед ним задач, освоении теории и даже в планировании и использовании бюджета времени. Эта свобода одновременно предполагает интенсивный труд. Беда тому, кто превратно поймет предоставляемую самостоятельность и начнет не в меру расходовать свои возможности на второстепенные и даже вовсе неучебные дела и увлечения. Такого незадачливого студента жизнь немедленно «выбивает из седла» и дальнейшее обучение становится невозможным. К счастью, таких случаев относительно немного. Чтобы не оказаться в числе неудачников, следует с первых дней пребывания в институте *понять и принять* основные принципы организации вузовского учебного процесса. Они мало зависят от конкретно выбранного вуза и даже специальности. В различных вузах радиотехнического профиля могут быть местные особенности организации учебного процесса, могут быть небольшие отличия в сроках обучения. Главные же принципы остаются общими.

Ускоренное обновление знаний, накопленных в различных областях деятельности человечества, характерное для нашей эпохи, приводит к естественной необходимости готовить специалистов «с дальним прицелом». Научить специалиста, как обращаться только с *техникой сегодняшнего дня*, пусть даже со всем многообразием методов ее проектирования, оказалось бы малоэффективным, как с точки зрения прогресса всего народного хозяйства, и в частности радиотехнической отрасли, так и с точки зрения самого специалиста.

За время обучения в вузе в условиях НТР происходит частичная или даже полная смена поколений технических решений и в какой-то степени принципиальных установок на проектирование образцов новой техники. В радиоэлектронике, например,

этот процесс проявляется во всей полноте. Сегодняшняя энциклопедия технических знаний для специалиста завтрашнего дня могла бы иметь лишь историческую ценность, а то и вовсе оказаться балластом. Вместе с тем сумма знаний по технике и сегодняшнего дня уже очень велика, поэтому изучение деталей и особенностей построения всего многообразия радиотехнических устройств и систем практически невозможно.

В связи с этим единственно возможный путь подготовки радиоинженеров, который себя полностью оправдал, состоит в глубоком изучении фундаментальных законов природы, математики, в вооружении специалиста эффективными методами анализа устройств и систем и обобщенного подхода к их проектированию. Это никак не означает абстрактности обучения. Общие фундаментальные положения уже в процессе учебы применяют к решению конкретных инженерных задач, чем прививаются необходимые практические навыки, воспитывается вера в надежность арсенала получаемых знаний, навыков, умения. Следуя такому принципу, высшая школа *учит* специалиста *учиться*, регенерировать знания, извлекать недостающие сведения из различных источников и черпать их из практики.

Привить такие качества возможно, если уже в стенах вуза будущий специалист приобщится к «технологии» своей дальнейшей деятельности. В ее основе лежат два тесно связанных фактора — самостоятельность и творческое отношение к поставленной задаче. Самостоятельность не означает, что студент предоставлен сам себе. Он постоянно работает под руководством профессора, преподавателя. Самостоятельность означает умение направить себя на критическое осмысливание материала, постановку вопросов перед собой, их дискуссию с учителями, активную работу с литературой.

Существует довольно верный признак — если вопросы не возникают, то нет необходимой глубины усвоения материала. Изучаемый предмет в таком случае как бы принимается на веру, заучивается. Такие знания бесплодны, они, как правило, быстро улетучиваются. Нелишне заметить, что некоторые студенты пытаются работать именно таким способом, «штурмуя» предмет за несколько горячих дней и ночей перед экзаменом. У таких специалистов, конечно, не может быть перспективы.

Самостоятельность делает процесс познания и приобретения специальности творческим. Она приводит к использованию нестандартных, оригинальных методов решения той или иной стоящей перед студентом задачи, часто весьма продуктивных. Для этого очень важно не ограничиваться первым, пусть даже удачным вариантом ее решения и уж во всяком случае не рассматри-

вать его, как единственно целесообразный. Сопоставление нескольких возможных вариантов обычно приводит к выявлению теоретически нестандартного и практически ценного метода.

Самостоятельность предполагает обязательную работу с источниками информации (книгой, статьей, справочником). По окончании вуза в практической деятельности специалиста такие источники сделаются главными. Поэтому умение работать с ними должно быть обязательно приобретено в процессе учебы.

Важная особенность процесса обучения в вузе состоит в тесном взаимодействии студента и преподавателя. Оно начинается на лекции, практическом занятии в лаборатории, на консультации и продолжается в выполнении научно-исследовательской работы.

Научно-исследовательская работа студентов в вузах является обязательным, очень заметным и увлекательным элементом процесса формирования специалиста. Участие в научных исследованиях часто выходит за рамки регламента только учебного процесса и превращается в прообраз будущей созидательной деятельности исследователя и инженера.

Все это вносит в учебный процесс новое качество — глубокую обратную связь между учителем и учащимся, без чего постижение физических законов, лежащих в основе такой динамичной специальности, как радиоэлектроника, современных методов проектирования аппаратуры, наконец, формирование специалиста как личности невозможно.

Обратим внимание на очень важную черту учебного процесса в вузе. Она состоит в логически обоснованном и очень *строгом порядке изучения дисциплин*.

Сначала изучают общенаучные фундаментальные дисциплины (математику, физику). Далее (и частично одновременно с этим) происходит освоение специальных физико-математических дисциплин, образующих основу выбранной инженерной специальности (теория сигналов и цепей, электродинамика). Параллельно прорабатывается ряд вспомогательных конструкторско-технологических предметов, имеющих важное значение при формировании инженерных навыков. На старших курсах глубоко изучаются специальные радиоинженерные дисциплины, выполняются проекты устройств и систем.

На протяжении всего обучения в учебный процесс органически вливается цикл социально-экономических предметов, очень важных для формирования философского мировоззрения, экономической подготовки, воспитания идейной зрелости. Система знаний и навыков, приобретаемых в процессе обучения в вузе,



Рис. 5.3. Диаграмма процесса формирования специалиста в высшей школе

может быть схематически представлена в виде пирамидальной диаграммы (рис. 5.3).

Режим обучения в вузе довольно интенсивный. Поэтому если в процессе учебы какой-то элемент программы оказывается непроработанным, то мало того, что в дальнейшем будет трудно найти время для возмещения этого пробела, он, как следствие, повлечет за собой трудности в понимании последующего материала.

Пробелы в знаниях, особенно в области фундаментальных дисциплин, приводят к невозможности изучения специальных радиотехнических дисциплин.

В нашей стране для большинства инженерных специальностей, включая радиоэлектронику, продолжительность обучения в вузе составляет пять лет. В некоторых вузах, которые, как правило, можно отнести к категории «флагманов» высшего образования, срок обучения увеличен до пяти с половиной лет. Таких институтов относительно немного. Увеличение срока обучения почти не отражается на содержании подготовки, но заметно влияет на ее углубление, на развитие творческих навыков и приобщение к инженерной и научной деятельности уже в процессе учебы. Не останавливаясь на анализе особенностей, возникающих при двух сроках обучения, возьмем для дальнейшего рассмотрения наиболее распространенный режим обучения.

Основным документом, определяющим состав дисциплин, их объем и последовательность изучения, количество экзаменов,

Таблица 5.1. Фрагмент учебного плана

Название дисциплин	Распределение по семестрам					Часов			
	экзаменов	зачетов	курсовых проектов	курсовых работ	всего	лекции	из них		
							лабораторные занятия	практические занятия	семинары
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
История КПСС	1, 2				120	60			60
Марксистско-ленинская философия	4, 5				90	50			40
Политическая экономия	5, 7	6			140	70			70
Научный коммунизм	7	8, 9			80	40			40
Экономика промышленности		7			70	42	14	14	14
Организация, планирование и управление предприятием	8, 9	9		9	126	84	14	28	
Иностранный язык		1, 2, 3, 4			210			210	
Физическое воспитание		1, 2, 3, 4			140			140	
Инженерная графика		1, 2, 3, 4			85	17		68	
Введение в специальность		1, 2			34	34			
Высшая математика	1, 1, 2, 2, 3, 4	1, 2			510	265	17	228	
Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах		1, 3		3	102	51	51	51	
Физика	1, 2, 3	1, 2, 3			272	136	85	51	
Основы теории цепей	2, 3	2, 4		4	238	136	51	51	
Радиоматериалы и радиодетали		3			68	51	17		
Электронные приборы	3	3			102	68	34		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Микроэлектроника									
Усилительные устройства	4	4	5		51	34	17	17	
Радиотехнические цепи и сигналы	4, 5	4			102	68	17	17	
Электродинамика и распространение р/волн	4	5			170	102	34	34	
Импульсные устройства	4	5			136	102	17	17	
Электронные приборы СВЧ и квантовые при- боры	5	5			85	51	34	34	
Электротехнические устройства	5	5			51	34	17	17	
Антенны и устройства СВЧ	6	5, 6		6	51	34	17	17	
Радиоавтоматика	6	6			124	79	28	17	
Электронные вычислительные устройства	6	6			84	56	28	28	
Электрорадиоизмерения	6	6			98	70	28	28	
Радиопередающие устройства	6, 7	6			70	42	28	28	
Радиоприемные устройства	7, 8	7, 8	7		112	70	28	14	
Конструирование и производство радиоаппа- ратуры	7, 8	7, 8	8		126	84	28	14	
Телевидение	8	7, 8			98	70	28	28	
Радиотехнические системы передачи инфор- мации	8	7			42	28	14	14	
Радиотехнические системы	8	8			70	56	14	14	
Охрана труда	9	8, 9		9	112	70	28	28	
Советское право	7	7			42	28	14	14	
Гражданская оборона		9			28	28			
Дополнительные виды обучения					50				
Обязательные дисциплины, установленные Со- ветом вуза	8, 9, 9	7, 8, 9			450				
					238	154	42	42	

проектов, учебной практики и т. д., является учебный план. В табл. 5.1 показан фрагмент учебного плана одной из радиоэлектронных специальностей. Учебный план утверждается Минвузом СССР, а его подготовка осуществляется ведущими профессорами и преподавателями учебных заведений совместно с представителями промышленности. Периодически по мере возникновения новых запросов отраслей народного хозяйства учебные планы корректируются.

В соответствии с планами срок обучения делится на десять семестров (длительность каждого — 4,5—5 мес), причем последний, десятый семестр, как правило, полностью отводится на *дипломное проектирование*. Каждый семестр завершается *экзаменационной сессией*. Более двадцати недель составляют общий объем производственной практики (на вычислительном центре или в учебных мастерских, в цехах и конструкторских бюро заводов, в лабораториях научно-исследовательских институтов).

Общий объем аудиторных занятий составляет 4700—4800 часов. Посещение занятий является обязательным. Регламент обучения предусматривает девятичасовой учебный день. Из девяти часов в среднем 5,5—6 приходится на обязательные занятия в аудиториях и лабораториях института, а остальные на самостоятельную работу. Из указанного общего объема (см. также рис. 5.3) на цикл социально-экономических дисциплин выделено 430 часов, на физико-математическую подготовку — около 900 часов, на теоретические основы специальности — более 800 часов, на радиоинженерные дисциплины, включая курс «Радиотехнические системы» более 700 часов, на цикл конструкторско-технологических дисциплин и дисциплины экономики, планирования и управления производством 550 часов. Последний из указанных циклов для специальности радиоинженера-конструктора и технолога оказывается существенно большим по объему, поскольку является основой такой специальности.

Особую роль играют дисциплины, предусмотренные учебным планом, но состав и программы которых определяются Советом вуза в зависимости от складывающихся запросов направления подготовки радиоинженеров. В ряде случаев эти дисциплины могут быть выбраны и для обеспечения углубленного изучения отдельных научно-технических проблем по желанию самих студентов в соответствии со сложившимися за годы учебы личными интересами. Обычно такие дисциплины посвящаются новейшим достижениям науки и техники в отдельных направлениях радиоэлектроники, общему обзору состояния проблем, а также расчету и проектированию специализированных устройств и систем.

Выбирая их по своему усмотрению (при консультации преподавателя), студент делает после выбора специальности *следующий* важный шаг. Такой выбор может в значительной степени предопределить, по крайней мере, ближайшую перспективу его инженерной и научной деятельности. Следовательно, выбор цикла дисциплин играет роль некой *специализации*. Такая специализация ни в какой мере не сужает подготовку специалиста. В случае необходимости, но уже самостоятельно, такой специалист в будущем может с успехом углубиться и в иную конкретную область радиоэлектроники.

Основой учебного процесса в вузе являются лекции. Это одна из старейших в истории образования и одновременно вполне современная форма общения учителя с учеником. Лекции читают профессора, доценты, старшие преподаватели. Их содержанию и методике в вузах уделяется первостепенное внимание. Несмотря на интенсивное развитие других способов передачи информации (книги, журналы, статьи, учебные фильмы и т. д.), в настоящее время значение лекции все более возрастает. Почему столь исключительна роль лекции в учебном процессе? Укажем несколько причин.

Лекция не утратила и никогда не утратит своего *направляющего* значения. Она позволяет вскрыть принципиальные положения предмета, его эволюцию и перспективу развития, раскрыть основные методы исследования и проектирования. На лекционный курс, как на стройную основу дисциплины, «нанизываются» другие виды занятий: упражнения, семинары, лабораторный практикум, а также самостоятельная внеаудиторная работа студентов.

Другая важная роль, которую играет лекция, состоит в возможности *концентрированного* изложения обширного материала. К настоящему времени наука и практика накопили огромное количество сведений, усвоение которых если и возможно, то при условии их тщательного, экономного отбора и обобщения. Этот отбор и обобщение и помогает сделать лектор.

Наконец, очень важным является то, что на лекции студент *общается*, как правило, с крупным специалистом, знатоком своего предмета, с человеком, имеющим широкий кругозор. Студент имеет возможность почувствовать процесс эволюции мысли, построения умозаключений. Лектор стремится вовлечь аудиторию в свой творческий процесс. Это требует от слушателей определенного напряжения ума, сосредоточенности, стремления понять и записать главное.

Чтобы быть полноценным участником лекционного процесса, на лекцию студент должен приходить внутренне настроенным

и подготовленным к ее восприятию. Материал предыдущей лекции должен быть проработан и освежен в памяти.

Лекцию нужно *уметь слушать и конспектировать*. Отвлечение посторонним, неаккуратная, небрежная запись, чрезмерно поспешное формирование вопросов (соседу или лектору — или тому и другому) приводит к плохому усвоению материала. Прежде всего с лектором в какой-то степени необходимо «сжиться», приспособиться к его манере чтения лекции.

При написании конспекта хорошо оставлять свободные места, полезно предусматривать поля, так как при проработке материала с использованием книги может возникнуть и часто возникает необходимость дополнить, а иногда и скорректировать записи. Важно подчеркнуть, что именно такая работа с конспектом приводит к необходимой глубине понимания и освоения предмета. Опыт показывает, что добротные студенческие конспекты лекций, дополненные решенными примерами и развитые за счет использования дополнительных источников, нередко становились хорошей основой даже для подготовки преподавателем учебных пособий. Такие учебные пособия рождаются как результат творческого содружества преподавателя и одного или группы студентов.

Однако при всем этом конспект не может рассматриваться как главное и тем более единственное учебное пособие. Его скорее следует представлять как развернутую программу дисциплины.

Главным учебным пособием должна оставаться книга, рекомендованная лектором. К работе с книгой следует себя приучать с первых дней учебы в институте, так как именно книга, статья станут в будущей деятельности специалиста главными источниками пополнения и обновления его инженерного и научного багажа.

Выше говорилось, что не следует торопиться задавать вопросы. Задавать вопросы можно, нужно и даже должно, но они должны «отстояться», «созреть». При этом очень важно приучить себя формулировать и записывать вопросы перед тем, как задать их в подходящий момент преподавателю.

Общий объем лекционных занятий в вузе на радиотехнических специальностях составляет не многим менее 50 % общего времени пребывания студента в аудиториях. Это подчеркивает ту большую роль, которая отводится этому виду учебного процесса. Весьма важно поэтому, чтобы работа студента на лекции (именно работа, а не просто слушание) была бы эффективной, побуждающей к творчеству и самостоятельности.

Остальное учебное время делится между различными видами

занятий, закрепляющих и углубляющих усвоение теоретического курса, прививающих навыки решения конкретных задач.

К ним относятся практически занятия, обычно посвященные решению задач под руководством преподавателя и, что особенно важно, разбору решенных студентами задач в порядке самостоятельной подготовки.

Очень важным видом занятий, прививающих навыки эксперимента, умение обращаться с аппаратурой, в том числе и с радиоэлектронной, является лабораторный практикум. В лабораториях, оснащенных обычно современной, а иногда и уникальной аппаратурой, студенты могут экспериментально исследовать модель того или иного аппарата, детально изучить физическую сторону процессов, протекающих в реальных устройствах.

Будущему инженеру очень важно поверить в силу математического аппарата, позволяющего анализировать явления, предсказывать их изменения при изменении условий, проводить расчеты, необходимые при разработке образцов новой техники. И эта вера приходит именно в процессе сопоставления результатов теории с результатами, полученными экспериментально.

Здесь следует помнить, что точность совпадения этих результатов по принципиальным соображениям не может быть сколь угодно высокой. Во-первых, при расчете и теоретическом анализе делается ряд допущений, пренебрегается влиянием второстепенных факторов. Такой подход неизбежен, поскольку он позволяет упростить модель явления, более отчетливо обозреть основные черты протекающих процессов, возможные принципы инженерного решения задачи и оценить значения ожидаемых параметров устройства, его характеристики. Во-вторых, и экспериментальное исследование по своей природе всегда приближенное, так как всегда в процессе измерений неизбежны ошибки. Поэтому самое большее, к чему можно стремиться в ходе расчета и эксперимента, это к уменьшению несоответствия результатов либо к установлению причин такого несоответствия. Если несоответствие невелико, т. е. по характеру решаемой задачи является допустимым, то результаты признаются удовлетворительными. В противном случае следует находить и устранять причины, его вызвавшие.

Итак, в лаборатории перед студентами открывается интереснейший мир физических явлений, возможность их количественного анализа и предсказания, а также целенаправленного управления ими.

Из сказанного выше должно следовать, что продуктивная работа в лаборатории предполагает необходимость хорошей

предварительной подготовки к ней, основанной на владении методами теоретического и инженерного анализа и расчета. В частности, особое значение при проведении экспериментов и оценке достоверности результатов имеют теория вероятностей, математическая статистика, а также математические методы планирования эксперимента.

Ряд теоретических дисциплин сопровождается так называемыми семинарами, являющимися разновидностью практических занятий. Семинары используются для углубления понимания основных положений теории, развития навыков работы с учебной и научной литературой. Семинарские занятия являются частью в первую очередь цикла социально-экономических дисциплин.

Как уже неоднократно подчеркивалось, краеугольным камнем учебного процесса в вузе является планомерное развитие навыков самостоятельной, творческой работы будущих специалистов, привитие им навыков научного и инженерного поиска. В такой атмосфере протекают все виды учебных занятий. В последние годы в связи с возросшими требованиями к качеству подготовки специалистов появилась специальная форма учебного процесса, называемая «Учебные исследовательские работы». Особенность таких работ состоит в том, что студент получает индивидуальное задание на *исследование*. Предметом исследования может быть явление, принцип построения прибора, новое конструкторское или технологическое решение и т. д. Проводя исследование, студент в миниатюре проходит через все этапы исследовательской работы: от этапа знакомства с прототипами решения заданной проблемы и обдумывания до обобщения результатов проделанной работы. Исследования студентов предполагают использование ЭВМ, создание экспериментальных макетов устройств с применением современной компонентной базы, проведение эксперимента.

Нередко исследовательские работы студентов перерастают в дипломное проектирование и далее определяют направление деятельности специалиста, по крайней мере, на ближайшие годы его самостоятельной работы уже в сфере производства.

Тему исследовательской работы студент имеет возможность выбрать из нескольких возможных, которые ему предлагает кафедра. Чаще всего бывает и так, что выбранная тема является частью большой научной работы, которую ведет коллектив кафедры. В этом случае студент (под руководством преподавателя) постепенно становится ее соисполнителем. Таким образом, формирование специалиста происходит в условиях выполнения им

части работы, находящей непосредственное практическое применение в народном хозяйстве.

Развитию индивидуальных творческих наклонностей студентов в значительной степени способствует и деятельность студенческих научно-технических обществ (СНТО). В частности, СНТО проводят научно-технические конференции, на которых студенты докладывают наиболее интересные результаты, полученные ими в ходе самостоятельной работы. Самые значительные из них часто получают рекомендации к опубликованию в виде статей в научных журналах.

Приобретению навыков проектирования радиоэлектронной аппаратуры служит выполнение курсовых проектов. Реальный процесс проектирования по своей сущности является синтезом устройства либо систем по наперед заданным требованиям. При этом создаются не существовавшие ранее структура устройства (т. е. его функциональная и принципиальная схемы), его конструкция, и если необходимо, то и специальная технология. Конечная цель разработки формулируется в виде *технических условий* (технических требований к изделию). Конечно, перед курсовым проектом не ставится задача детальной проработки технического решения. Курсовой проект посвящается обычно какой-то части изделия, разработке его принципиальной схемы и элементов конструкции.

В ходе работы над проектом студент использует знания и навыки, приобретенные им при изучении не одной, а нескольких предшествующих дисциплин. При проектировании от него может потребоваться знакомство со специальной технической литературой, использование при расчетах или моделировании ЭВМ. В данном смысле проектирование — это также синтез, синтез знаний, навыков, умения. Проектирование представляет собой вид учебного процесса, целью которого является подготовка к непосредственной инженерной деятельности. Проектирование наилучшим образом стимулирует творчество, развивает самостоятельность, инженерную хватку молодого специалиста.

Выполнив разработку, студент защищает свое инженерное решение. Именно защищает, а не сдает экзамен. Защита курсового проекта — эта особая школа. Студент учится в компактной форме на языке радиоинженера с помощью систем соотношений, таблиц, графиков, элементов конструкций формулировать постановку задачи, обосновывать метод ее решения и отстаивать полученные результаты. При защите нужно быть готовым к ответу на любой вопрос, связанный с проектом. Таких вопросов в принципе может быть немало. Комиссия преподавателей (конечно доброжелательная, но одновременно и требовательная) про-

веряет студента на устойчивость его инженерной позиции, обоснованность разработанного им проекта.

В ряде институтов нашей страны (например, в Московском энергетическом, Таганрогском радиотехническом) созданы студенческие конструкторские бюро (СКБ) радиотехнического профиля. Включаясь в работу СКБ, наиболее активные студенты становятся участниками конструирования и непосредственного воплощения в материале приборов, необходимых для народного хозяйства и выполняемых по его заказам. Нередко эти приборы являются уникальными как по замыслу, так и по исполнению. Для таких студентов учебное проектирование органически сливается с реальным. Их расчеты доводятся до реализации. На ВДНХ СССР можно видеть оригинальные экспонаты, созданные непосредственно студентами, членами СКБ. Быть участником ВДНХ — это большая честь. Но еще бóльшая честь быть отмеченным на ней медалью или дипломом. Такие случаи не единичны.

Качество работы студентов в вузе непрерывно контролируется. Это, во-первых, наблюдения преподавателей за их текущей работой (ведь мы уже говорили, что учебная работа должна быть систематической). Текущий контроль стимулирует планомерную учебу, выполнение в срок учебных заданий. В какой-то степени по результатам текущего контроля можно прогнозировать и результаты экзаменов. Текущий контроль — одна из форм обратной связи между учителем и учениками. Текущий контроль завершается получением студентами з а ч е т а по данной дисциплине.

Главный же отчет в приобретенных знаниях происходит на экзаменах. Э к з а м е н ы — это официальная форма аттестации студентов в вузе. В нашей стране принято проведение двух экзаменационных сессий в учебном году (по числу семестров).

На основании результатов экзаменов принимаются решения о переводе студентов на следующий курс обучения, о назначении им стипендии, о поощрении студентов, показавших выдающиеся результаты (именные стипендии). Увы, принимаются решения и об отчислении из института.

В экзаменационную сессию студент сдает 4—5 экзаменов с перерывами на подготовку к ним в несколько дней. Экзаменационная сессия — это весьма ответственный период вузовской жизни, поскольку он связан с подведением итогов. Для студентов — это период обобщений, углубления понимания предметов своей специальности. В этом смысле экзаменационная сессия может быть продуктивной лишь при условии, если в течение семестра материал регулярно прорабатывается.

Хорошо заготовленный в семестре теоретический багаж и его приложения эффективно обобщаются в период подготовки к экзаменам, когда предоставлена возможность сконцентрировать внимание на одном предмете, на том главном, что составляет основу его содержания. Именно в таком плане использование экзаменационного периода приводит к ощутимым результатам, рождает чувство удовлетворения у студента (и в не меньшей степени у его преподавателя).

Необходимо отметить, что каждое последующее испытание — это не только экзамен по «сдаваемому» предмету. Реально это и отчет о применении того, что было усвоено ранее в приложении к новой дисциплине. Именно так формируется глубокая подготовка специалиста, основанная на прочном фундаменте научных положений.

В свете сказанного, при обучении в вузе должен действовать принцип нарастающей ответственности студента за качество приобретаемых знаний в ходе изучения последовательности дисциплин.

В заключение обратим внимание на необходимость привыкнуть пользоваться рядом вспомогательных, но чрезвычайно важных подразделений института. К ним следует отнести в первую очередь библиотеку, читальный зал и вычислительный центр.

В библиотеке к услугам студентов, преподавателей и научных сотрудников института большой выбор учебной и научной литературы. Современная система учета и хранения литературы весьма гибка и оперативна.

В библиотечном деле существуют каталоги двух типов: алфавитный и предметный. В алфавитном каталоге книги расположены в алфавитном порядке фамилий их авторов. Предметный каталог рассчитан на поиск нужной книги не по фамилии автора, а по предмету, которому посвящена требуемая книга. Из него, в частности, можно сделать представление об общем объеме печатных изданий, посвященных той или иной проблеме. С помощью каталогов (при необходимости можно прибегнуть к помощи консультанта — работника библиографического отдела библиотеки) легко находится нужная книга. Собственно, найти нужно не книгу (предполагается, что то, что ищется, хотя бы приблизительно известно по названию и фамилии автора), а шифр книги, однозначно определяющий ее адрес в хранилище. После этого ее получение не займет много времени.

В тех случаях, довольно редких, когда требуется книга, которой данная библиотека не располагает, то по заявке препода-

вателя книга может быть получена из другой библиотеки по межбиблиотечному абонементу *.

Хорошую книгу, учебник или справочник приятно и полезно иметь постоянно в собственном распоряжении. Особенно, если эта книга по той области радиоэлектроники, в которой концентрируются интересы будущего специалиста. Случается, что такая книга принадлежит перу одного из учителей студента. Тогда она может быть украшена и автографом автора. Сказать, что такая книга становится с годами особенно ценной, мало. Несмотря на прогресс радиоэлектроники, на неизбежные изменения, которые вторгаются в ее сферу, такая книга-реликвия продолжает оставаться учебником, поскольку именно с ней связаны первые познания в избранной области, познания, которым суждено развиваться и множиться в ходе уже самостоятельной работы инженера.

Даже при наличии иной, более современной литературы первая книга всегда остается первой и к ней многократно обращаются за советом. Стремление к знаниям вырабатывает у советского интеллигентного человека иметь свою, под рукой находящуюся библиотеку. Собирая ее, не следует разбрасываться. В ее основе должны быть фундаментальные книги по специальности и книги, как уже говорилось, по «любимой» проблеме радиоэлектроники.

Личная библиотека и библиотека института не исключают, а дополняют одна другую. Они способствуют решению общей задачи — приобщению к главному источнику научно-технической информации — к печатному слову.

Работа с источниками пополнения знаний требует определенной системы. Система вырабатывается путем их постепенного отбора по проблематике, конкретно-прикладной и общенаучной значимости для избранной специалистом области деятельности. Без этого невозможно быть на уровне современных представлений и инженерных методов даже в узкой области. Определенную помощь в систематизации сведений и источников может оказать регулярное проведение библиографической работы. Она состоит в составлении личного каталога просмотренных или изученных публикаций с краткими резюме и отмеченными особенностями. При необходимости такой справочный материал может легко подсказать, что и в каком источнике следует искать. Личный каталог всегда под рукой, он специализирован, содержит создан-

* В настоящее время библиотеки нашей страны представляют единую систему, в которой происходит непрерывный обмен литературой, осуществляемый в интересах читателей.

ные его владельцем краткие пояснения. В этом его достоинства перед каталогами универсальными, но более скудными.

В эпоху интенсивного научно-технического прогресса только хорошо построенная система в работе, отборе сведений, ознакомления с литературой и учете интересующей информации поможет специалисту быть на уровне современных требований и не «заблудиться» во множестве проблем и методов их решения. Информационная служба в нашей стране поставлена на научную основу. Научной информацией занимаются подразделения отдельных предприятий, библиотеки и специальные всесоюзные и отраслевые научно-исследовательские учреждения. К ним в первую очередь следует отнести Всесоюзный институт научной и технической информации, который проводит огромную работу по анализу печатных изданий в нашей стране и за рубежом практически по всем отраслям естественных наук и техники. Институт публикует краткие изложения существа статей, книг, патентов и изобретений (рефераты) в реферативных журналах и сборниках по соответствующим отраслям знаний. Эти материалы широко доступны и постоянно используются инженерами и научными работниками. Для радиоинженеров и научных работников в области радиотехники имеется специальная серия этого журнала РЖ «Радиотехника».

§ 5.5. СПОРТ В ЖИЗНИ СТУДЕНТА

Говоря о режиме и особенностях обучения в вузе и тем более по такой трудоемкой специальности, какой является радиотехника, важно подчеркнуть, что путь к званию радиоинженера, к широким просторам творческого труда требует мобилизованности, собранности, высокой дисциплины и значительной отдачи сил. Это не должно отпугивать, а должно восприниматься как необходимое условие. Как и в спорте, путь к сколько-нибудь значительным результатам в науке не устлан розами, а является суровым испытанием волевых, физических и умственных качеств человека.

Чтобы выдержать ритмы и нагрузки в период обучения, необходимо правильно строить свой режим — режим дня, отдыха, питания, соблюдать гигиену умственного труда. Во многом помогают здесь занятия физкультурой и спортом. Студенты обычно любят спорт. Хорошо известно, что студенчество подарило нашей стране и миру много замечательных спортсменов. Однако не всем доступно становиться звездами, но каждому по силам заставить спорт работать на пользу собственному здоровью и, таким образом, поддерживать свою жизненную

активность, способствовать профессиональным достижениям и творческому долголетию. Все это воедино сливается с интересами нашего общества в целом.

Став студентом, полезно внимательно присмотреться к своим учителям (иногда далеко уже не молодым). Нередко в маститом ученом нетрудно разглядеть незаурядного спортсмена. Спортсмена выдает подтянутость, осанка, координация движений.

Поговорите с вашим учителем на спортивную тему, он может рассказать много поучительных и курьезных историй из своей спортивной биографии. Но спорт у него не только в прошлом. И сегодня своего учителя вы вдруг встречаете (к радости обоих) на теннисном корте, в плавательном бассейне, на лыжне, на склонах гор, а то и просто на пробежке. Увлечение спортом — источник здоровья, хорошего настроения.

В вузе студенты располагают необходимыми возможностями для регулярных занятий спортом. Во-первых, программой обучения предусмотрены обязательные занятия физкультурой и спортом (физическое воспитание). Однако их объем невелик и рассчитан лишь на то, чтобы дать некую минимальную общефизическую подготовку, помочь новичку выбрать по душе спортивную «специальность». Регулярность занятий спортом обеспечивается в основном за счет активных пауз умственного труда. Для этого можно пользоваться спортивными залами, стадионами и площадками, спортивными секциями, которые активно функционируют в каждом из вузов. Если такой возможности нет — хотя бы разминка на воздухе, утренняя гимнастика, просто прогулка.

Надо помнить простую истину: если «нет времени», то это чаще всего связано с плохой организацией своего труда, отсутствия необходимой самодисциплины. Ведь известно, что наиболее занятые люди, знающие цену времени, так организуют свой режим, что находят время и на отдых, и на спорт, и на развлечения. Они точны и обязательны. Распространенные сетования на недостаток времени отнюдь не украшают личность. Они, скорее, говорят о ее слабости.

§ 5.6. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКЗАМЕН НА ЗРЕЛОСТЬ И БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Покидая вуз после пяти лет учебы, молодой специалист должен обладать комплексом качеств, которые мы уже обсудили, когда рассматривали модель специалиста. Кратко говоря, этот комплекс должен обеспечивать высокую идейную зрелость и способность вести в составе коллектива разработку промышлен-

ных образцов новой техники. Подготовленность будущего специалиста проверяется по ходу его обучения. Сведения об уровне подготовленности дают и текущий контроль, результаты экзаменационных сессий и защит курсовых проектов. Однако комплексную проверку и аттестацию молодой специалист проходит непосредственно перед окончанием института. Здесь можно назвать два главных рубежа, проходя которые молодой специалист раскрывает себя, демонстрирует свою зрелость.

Во-первых, это Государственный экзамен по научному коммунизму. Теоретические дисциплины, семинары, общественно-практическая деятельность молодого человека в вузовском коллективе, в строительных и сельскохозяйственных отрядах последовательно воспитывают сознательного труженика, строителя коммунистического общества. Экзамен по научному коммунизму — это экзамен на идейную зрелость, на теоретическую подготовленность к участию в строительстве нового общества. Государственный экзамен по научному коммунизму в корне отличается от всех предыдущих экзаменов по социально-экономическим дисциплинам *комплексным* характером, выявлением уровня *обобщения* знаний, полученных за годы учебы.

Экзамен принимает Государственная экзаменационная комиссия, состоящая из ведущих профессоров, преподавателей, представителей администрации, партийной и общественных организаций.

Экзамену предшествует период подготовки и консультаций. Результаты экзаменов по своей сути являют собой смотр идейно-воспитательной работы в вузе. Как правило, эти результаты бывают весьма высокими. Получение лишь удовлетворительной оценки на госэкзамене равносильно признанию недостаточной идейной зрелости. Такой специалист даже при успешной защите дипломного проекта не может быть признан полноценным. Ему трудно начинать самостоятельную работу в коллективе. К счастью, такие случаи являются исключениями.

Итак, Государственный экзамен по научному коммунизму сдан и сдан успешно. Теперь можно с полной отдачей сил приступить к выполнению дипломного проекта. Это — главная инженерная разработка студента в институте и второй рубеж проверки его общей подготовленности. В этой работе должна найти отражение вся полнота профессиональной подготовки будущего специалиста — фундаментальные знания, владение инженерными методами расчета и проектирования, основанными на использовании ЭВМ, умение обращения с измерительной аппаратурой и навыки постановки эксперимента, широта инженерного кругозора.

Семестр чистого времени на выполнение проекта! Здесь можно многое сделать и полностью раскрыть свою подготовленность. Приступая к решению поставленной инженерной задачи, студент должен прежде всего ее глубоко осознать.

Радиоинженер вынужден вести нелегкую борьбу за свою систему, когда его невидимыми противниками оказываются различного рода ограничения, вытекающие из объективных законов природы, которым подчиняются процессы и явления, свойственные отдельным компонентам, устройствам и системе в целом. Ограничения часто связаны с условиями реализации системы, такими, как стоимость, габариты, масса и др.

Найденное решение радиоинженер должен уметь активно отстаивать, поскольку способов решения поставленной задачи может существовать несколько. Обоснованная аргументация — важное средство в арсенале радиоинженера-разработчика.

Анализируя техническое задание на проектирование, студент знакомится со специальной литературой и прототипами, рассматривает различные возможные варианты. Исполнитель останавливается на оптимальном варианте и представляет его руководителю проекта. Руководитель не лишает студента самостоятельности в выборе решения, а наоборот, стремится развить в нем ответственность за будущее разработки, начало которому закладывается выбором варианта проекта. Студент несет полную ответственность за выбор решения и качество инженерной проработки. Руководитель является его советчиком, предостерегает от заблуждений, помогает студенту правильно распределить свои силы так, чтобы проект был закончен в установленный срок.

Проведя необходимые расчеты, поставив, если это требуется, эксперимент и проработав элементы конструкции, студент изготавливает чертежи и пишет пояснительную записку. Пояснительная записка (объемом обычно около 100 страниц машинописного текста) содержит изложение основных результатов проделанной работы.

Предварительный критический анализ проекта делает рецензент — специально выделяемое для этой цели нейтральное лицо из числа преподавателей, научных или инженерных работников вуза или работников промышленности.

Последний и самый важный шаг студента в институте — его доклад о дипломном проекте и его защита. Доклад и ответы на вопросы заслушивает специальная Государственная экзаменационная комиссия (ГЭК). ГЭК состоит из нескольких членов — ведущих профессоров и преподавателей и обязательно из представителей радиотехнической отрасли народного хозяйства. Государственная экзаменационная комиссия присваивает молодому

му специалисту квалификацию радиоинженера. Решение о присвоении квалификации принимается на закрытом заседании комиссии после заслушивания защиты дипломного проекта с учетом результатов учебы студента, его общественно-политической характеристики и оценки, полученной на Государственном экзамене по научному коммунизму. Результаты защиты ГЭК оценивает по четырехбалльной системе.

Нередко приходится иметь дело с выдающимися работами студентов. В таких случаях ГЭК может принять решение о выдаче диплома с отличием, о рекомендации проекта на конкурс студенческих работ и т. д. Эти формы поощрения являются заметным стимулом успешной учебы и творческой деятельности студентов. Так происходит качественное превращение. Студент становится радиоинженером, обладателем государственного документа о законченном высшем техническом образовании — диплома радиоинженера.

Позади годы напряженной учебы, труда. Что ждет молодого специалиста за порогом института? В отличие от картины, типичной для высшей школы капиталистических стран, перед выпускниками советского вуза не встает проблема занятости. Его рабочее место гарантировано Конституцией СССР и определено еще тогда, когда задолго до окончания института специальная межведомственная комиссия по распределению молодых специалистов предложила и официально закрепила за ним одну из организаций по профилю его радиоэлектронной специальности. С работы в такой организации и начинается трудовая деятельность молодого радиоинженера. Советское законодательство оберегает права молодых специалистов. На предприятии они находятся на особом положении, гарантирующем их использование исключительно по полученной специальности.

Для молодых специалистов предусмотрен (продолжительностью в один год) период *стажировки*. В этот период под руководством опытных сотрудников радиоинженер знакомится с особенностями подразделения, его тематикой, конкретными решаемыми задачами. В этот же период он делает пробные шаги, т. е., проверяя себя, свой багаж инженера, решает первые конкретные производственные либо научно-технические задачи.

Не исключено, что эти задачи, поставленные на этапе стажировки, могут потребовать углубления теоретических знаний в некоторых, новых для инженера, областях радиоэлектроники. Здесь на помощь также приходят старшие товарищи по работе. Необходимые новые сведения излагаются молодым инженерам в специальных циклах лекций, организуемых на предприятиях. В период стажировки перед коллективом подразделения раскры-

вается и общественное лицо молодого специалиста, укрепляются его связи с общественными организациями. Вся совокупность деятельности молодого инженера в конце стажировки подвергается анализу комиссией предприятия, после чего выносится решение о качестве прохождения практики. Это, по сути, является актом окончательного признания специалиста полноправным членом производственного коллектива.

Дальнейшая судьба во многом зависит от активности инженера, взаимодействия с товарищами, от его ответственности за порученную работу и за общее дело. Высшая школа создала необходимые предпосылки для успешного роста ее воспитанника. Фундамент подготовки радиоинженера достаточен для того, чтобы далее самосовершенствоваться, творить, создавать новые изделия, участвовать в научно-техническом прогрессе.

Лучшей школой профессионализма для радиоинженера является его производственная деятельность. Однако новые задачи требуют пополнения и теоретического багажа. В большой степени этому способствует самообразование, которым обязан заниматься каждый творческий специалист в ходе своей производственной деятельности. Заглянуть в научно-техническую книгу, прочитать статью, ознакомиться с новым патентом или принять участие в научно-технической конференции для специалиста должно быть также необходимо, как необходимы человеческое общение, повышение культурного и идейного уровня, занятия спортом.

На определенном этапе может возникнуть необходимость приобретения новых знаний в систематическом порядке в области прикладных или фундаментальных наук. В таких случаях на помощь приходят краткосрочные курсы повышения квалификации. Форма их организации может быть различной — это и отраслевые институты повышения квалификации и факультеты и курсы повышения квалификации при высших учебных заведениях, а также отдельные циклы лекций по современным проблемам науки и техники, широко организуемые в нашей стране научными и учебными заведениями, народными университетами, отделениями общества «Знание».

В радиопромышленности проводится значительная работа по повышению квалификации инженеров и по их переподготовке в связи с появлением новых научно-технических тенденций. Выпускник вуза, радиоинженер, должен быть готов к самосовершенствованию, к продолжению образования и повышению своего научно-практического потенциала в течение всего периода своей активной деятельности. В этом не только залог его творческого долголетия, но и важная предпосылка к тому, что его труд и труд его производственного коллектива будут вознаграждаться замет-

ными (а иногда и выдающимися) научно-техническими достижениями.

Большое значение в прогрессе радиоэлектроники имеет изобретательство. Изобретательство — это открытие новых способов, технических решений, принципиальных схем устройств, технологических приемов и т. д. В принципе изобретательством должна быть проникнута деятельность любого творческого работника. К сожалению, не каждое полезное для общественной инженерной практики изобретение видит свет. Нередко оно так и остается наедине со своим автором. А это большой ущерб для производства и для науки. В нашей стране делу изобретательства уделяется большое внимание, оно материально поощряется, проводятся конференции изобретателей, ведется публикация и учет изобретений.

Конечно, не каждое «изобретение» таковым признается. На поверку может оказаться, что предлагаемая новинка не более чем уже хорошо известный «велосипед». Такие «велосипеды» попадают и по сей день. Это говорит о том, что прежде чем подать заявку на изобретение, следует хорошенько обдумать идею и познакомиться в библиотеке с существующими прототипами и аналогичными устройствами.

Часть инженеров, обобщая свою практику и развивая лежащую в ее основе теорию, подготавливает научные работы для публичной защиты и соискания ученой степени. Такие инженеры часто выступают с докладами, публикуют статьи. В нашей стране для этого созданы все необходимые условия — регулярно производятся научно-технические конференции, функционируют научно-технические общества, издается научно-техническая литература — журналы, книги, сборники научных трудов. Иметь ученую степень каждому радиоинженеру необязательно, да и невозможно. Но повседневно стремиться к обогащению общественной практики проектирования радиоэлектронной аппаратуры, ее производства, испытания и эксплуатации, развивая необходимую для этого теорию, обязан каждый представитель передовой техники.

В этом суть призвания радиоинженера. Не останавливаться на достигнутом, проводить в жизнь новое, передовое, что есть в радиоэлектронике и других технических науках, делиться своим опытом, дерзать. Дерзать так, как дерзали А. С. Попов, М. А. Бонч-Бруевич, М. В. Шулейкин, М. В. Келдыш, С. П. Королев, И. В. Курчатов, А. И. Берг, В. Д. Калмыков! Работать так, как работают наши современники В. А. Котельников, Ю. Б. Кобзарев, В. И. Сифоров и множество их учеников и последователей.

Глава 6

НАША СПЕЦИАЛЬНОСТЬ И ТЕХНИКА ЗАВТРА

Любой, уважающий себя ученый или просто человек, близкий к науке, мечтает оставить в ней заметный след. Разумеется, в самом хорошем смысле этого слова.

А. Азимов

Любая область знаний, любая область техники ширится и развивается в соответствии с объективными законами физического мира, в связи с запросами практики и созидательной деятельностью человеческого общества. Познание природы, так же, как и совершенствование технических средств, не имеет пределов. По-видимому, можно с достаточным основанием утверждать, что нет такой области науки и техники, где было бы сказано последнее слово и поставлена точка. Так и в радиоэлектронике. И тем более потому, что данная область деятельности человечества весьма молода. Радиоэлектроника не знала застоев в своем развитии. Более того, непрерывно происходил и происходит процесс ее качественного совершенствования и расширения сферы ее применения.

Изделия радиоэлектроники чаще всего не могут рассматриваться как некий продукт, прямым образом удовлетворяющий духовные или материальные запросы человека. Такое понимание ее роли было бы слишком узким. При таком подходе радиоэлектроника рассматривалась бы всего лишь как увлекательная (приносящая духовное удовлетворение) и хорошо субсидируемая государством (приносящая материальные блага труженикам; занятым в данной отрасли народного хозяйства) область человеческой деятельности. В действительности радиоэлектроника является мощным средством технического и общественного прогресса. Грандиозные успехи нашего общества были бы немыслимы без современных технических средств, к которым по праву относится радиоэлектроника.

Радиосвязь обеспечивает все отрасли народного хозяйства и личные потребности людей.

Радиовещание и телевидение сделали переворот в средствах доставки последних известий, обеспечении культурного досуга, образования, практически, вне зависимости от расстояний.

Радиолокация и радионавигация стали на службу почти всех видов транспорта. Транспорт без радиоэлектроники оставался бы тихходным, не было бы современной авиации и морского флота.

Космическая техника и радиоэлектроника столь же органически связаны, насколько связаны взаимодействуют органы живого организма. Радиоэлектроника — одно из важнейших средств, обеспечивающих пилотируемые и непилотируемые космические корабли.

Радиоэлектроника надежно служит обороне страны.

О многих ее приложениях уже говорилось ранее. По-видимому, дальнейшее развитие этой области техники будет определяться двумя взаимодействующими факторами: во-первых, новыми задачами, которые будут возникать перед радиоэлектроникой в связи с требованиями прогресса тех областей человеческой деятельности, где она находит применение и является *определяющим фактором*, и, во-вторых, естественными, так сказать, внутренними законами ее развития и совершенствования, как *сферы приложения творческих способностей человека*.

В таком взаимодействии причин происходило ее развитие и ранее. Можно напомнить, что развитие техники ускорителей элементарных частиц потребовало от радиоинженеров и ученых разработать методы формирования колебаний с прецизионными законами изменения частоты и фазы, требуемая точность соблюдения которых намного превосходила то, что было достигнуто ранее. В ходе решения этой сложнейшей задачи пришлось выполнить ряд исследований и разработок принципиально нового типа. В результате, в области техники управления колебаниями радиоэлектроника поднялась на качественно новую ступень.

Достижения радиоэлектроники в области стабилизации частоты колебаний и, как результат этого, создание промышленных образцов стандартов частоты позволили резко повысить качество работы систем измерения параметров движения искусственных спутников Земли и других космических аппаратов, а также точность управления ими. Примеров взаимодействия радиоэлектроники и других областей техники можно привести много, что является вполне закономерным и находится в хорошем согласии с диалектикой развития материального мира.

Сейчас трудно назвать область человеческой деятельности, которая не была бы связана с радиоэлектроникой. Поэтому появление принципиально новых сфер применения радиоэлектроники можно ожидать в такой же степени, в какой можно прогнозировать появление новых областей деятельности человеческого общества. Не затрагивая проблем футурологии, остановимся на

вопросах развития радиоэлектроники в связи с уже сложившимися областями ее использования.

В будущем можно ожидать бурное развитие радиоэлектроники, как *средства связи, радиовещания и телевидения*. Все более значительную роль при этом будут играть *спутники-ретрансляторы*. В принципе, со спутником смогут непосредственно (без участия наземных ретрансляционных станций) взаимодействовать и отдельные абоненты. Так, станет возможным прием телевизионных программ, ретранслируемых спутником, непосредственно индивидуальными приемниками. Такой принцип сделает телевидение доступным жителям практически любого района нашей страны и планеты в целом. Легко представить, насколько возрастет при этом роль телевидения. Масштабы его применения поистине станут глобальными.

Радиотелефонная связь абонентов через спутники связи в будущем станет столь же обычной и распространенной, как и обычная телефонная связь в настоящее время.

Для решения этих задач ученым и радиоинженерам предстоит преодолеть немало трудностей. Одна из них состоит в создании эффективной приемной аппаратуры, способной выделять слабые сигналы приемниками индивидуального пользования при неслишком больших целесообразно допустимых при индивидуальном (или, в крайнем случае, коллективном) пользовании размерах приемных антенн.

Весьма непростой инженерной задачей является создание спутниковой бортовой аппаратуры связи, способной одновременно взаимодействовать со множеством абонентов. Здесь должна быть обеспечена весьма высокая пропускная способность ретранслятора, возможность прямой связи любой пары абонентов и, конечно, высокая надежность безотказного функционирования системы. Для этого понадобятся весьма мощные и одновременно малогабаритные бортовые передатчики и чувствительные приемники, а также антенные системы, определенным образом ориентированные и стабилизированные. Наряду с этим должны быть созданы высокоэффективные и быстродействующие бортовые устройства обеспечения связи, уплотнения и обработки информации.

Одной из серьезных проблем является обеспечение таких систем надлежащим энергоресурсом на борту спутника, так как постоянная работа спутника в качестве ретранслятора с индивидуальными абонентами потребует повышения мощности первичных источников энергопитания. Пока такими источниками являются солнечные батареи. Возможно, что со временем на службу спутниковой связи непрерывного действия придут и

другие источники с большим энергоресурсом (например, источники ядерной энергии).

Развитие радиоэлектроники как средства связи и вещания будет идти также путем совершенствования беспутниковых систем, т. е. радиорелейных, волноводных и кабельных линий связи. Здесь многообещающие перспективы открываются при дальнейшем освоении все более коротких волн. Хорошо известно, что при прочих равных условиях пропускная способность канала связи определяется полосой рабочих частот (это является одной из причин, почему радиоинженеры и ученые настойчиво «штурмуют» все более короткие волны). Поэтому в настоящее время ведется борьба за освоение не только миллиметровых и субмиллиметровых волн, но и волн оптического и более коротковолновых диапазонов. Информационные возможности этих диапазонов поистине неограничены.

Однако чтобы эти резервы поставить на путь практического использования, ученым и инженерам придется преодолеть немалые препятствия. Здесь напрашивается аналогия с перспективами использования энергии ядерного синтеза. Овладение этой энергией открыло бы человечеству необозримую эру энергетического благополучия. Но эта энергетическая кладовая пока не распечатана из-за хорошо известных и еще не преодоленных трудностей обеспечения режима управляемого синтеза и конструктивной надежности установок. Так и с освоением микроволн. Проблема «частотного голода» была бы полностью решена, если бы удалось преодолеть плохую совместимость этих волн со средой распространения, т. е. уменьшить эффект их сильного поглощения при распространении.

Сейчас научно-техническая мысль направлена на поиск эффективных канализирующих систем, полностью или частично изолированных от окружающей среды. В качестве таких систем могут быть использованы диэлектрические волноводы или волноводы в виде полых металлических труб. Здесь требуются специальная технология и материалы, обеспечивающие высокую точность конструкции, малые потери энергии при передаче и отсутствие вырождения волн с заданной конфигурацией поля.

В оптическом диапазоне волн направляющие системы выполняются в виде стекловолоконных пучков. Шнур, составленный из множества тончайших нитей, является прекрасным каналом передачи сообщений, к тому же весьма удобным в технологическом отношении. В направлении поиска подходящих материалов и технологии изготовления волноводов такого типа уже получены обнадеживающие результаты. Радиоинженерам открываются большие возможности освоения микроволнового диапазона и

создания устройств, систем и комплексов с чрезвычайно высокими, пока еще не достигнутыми показателями качества.

Важнейшей задачей ближайших поколений радиоинженеров будет создание *Единой автоматизированной системы связи (ЕАСС)*. Ее решение должно быть проведено с использованием уже существующих систем связи. Другой путь был бы экономически невыгоден. Однако с технической точки зрения, это не упрощает, а усложняет реализацию такой «суперсистемы» из-за необходимости сопряжения сравнительно разнородных систем, имеющих к тому же различные пропускные способности. Здесь радиоинженеру на помощь придут специализированные ЭВМ.

Развитие *радиолокационной техники* идет по пути повышения дальности действия, точности измерения координат объектов, разрешающей и пропускной способности. На радиолокаторы совместно с вычислительными устройствами возлагают функции по наблюдению одновременно за многими объектами пространства. К этому следует добавить необходимость *классификации* объектов, или, как говорят, *распознавания* образов. Иными словами, радиолокационные системы должны не только «ощущать» пространство, но и «видеть» его. Радиовидение как проблема не ново. Однако практическое осуществление системы с разрешающей способностью на уровне распознавания образов (а не только по их положению в пространстве) становится возможным с использованием новейших достижений радиоэлектроники в области теории сигналов и их пространственно-временной обработки.

Радиоголография — объемное изображение объектов с помощью радиосредств станет в будущем столь же распространенной, как и обычная радиолокация в наши дни. Радиоинженер уже сейчас и в особенности в дальнейшем будет опираться на использование быстродействующей вычислительной техники и не только как средства проектирования сложных систем, но и как средства обработки информации о пространстве, заключенной в электромагнитном поле.

Развитие радиолокации и техники связи позволит решать еще более грандиозные задачи по освоению ближнего и дальнего космоса, по обеспечению надежной работы авиации и др.

Транспортные средства будущего будут нуждаться в высокоточных и надежных *радионавигационных приборах*. Достижения радионавигации значительны, однако пока решена лишь часть задач.

В принципе, можно полностью автоматизировать самолетовождение, включая посадку, вне зависимости от метеоусловий. Это позволит исключить случаи нарушения расписания, связан-

ные с погодой, повысить надежность воздушного транспорта. Но для этого необходимо, чтобы значительно возросла точность работы радионавигационных средств, была обеспечена их работа с «нулевой», мертвой зоной. Радиосредства должны «видеть» посадочную полосу не только издали, но, самое главное, в момент непосредственно перед касанием ее самолетом, т. е. «видеть» ее так или даже лучше, чем видит пилот в ясную погоду.

Определение координат кораблей в открытом море или положения каких-либо географических объектов исстари проводилось по звездам. Однако это можно делать лишь в ясную погоду. Радионавигация будущего больше будет связана со специальными спутниками, выполняющими роль рукотворных светил. Радиополучение искусственного спутника Земли, орбита и закон движения которого заранее известны в некоторой опорной системе координат и единой системе отсчета времени (здесь опять работают новейшие достижения радиоэлектроники — электронные хронометры высочайшей точности), играет ту же роль, что и свет далеких звезд, с той только разницей, что прием радиополучения не зависит от погоды. Искусственные спутники для навигации используются и в настоящее время. В будущем их роль, а стало быть, и роль соответствующих радиотехнических средств будет прогрессивно возрастать.

Своими энергоресурсами (быть может, кроме ядерной энергии) человечество обязано нашему главному светилу — Солнцу. Поэтому нельзя не упомянуть о возможности *энергетического использования* радиоэлектроники в связи с обострившимися энергетическими проблемами.

Наряду с поиском эффективных способов извлечения энергии из запасников природы ученые исследуют экономически выгодные способы улавливания и преобразования энергии, непрерывно испускаемой Солнцем. Было бы заманчиво осуществить прямое преобразование солнечного излучения в электрическую энергию. Данная проблема порождает множество проектов. Один из них опирается на радиоэлектронику.

Если за пределами атмосферы в состоянии невесомости развернуть гигантское полотно, составленное из преобразователей излучения Солнца в электрический ток, то встает задача переброски электрической энергии на Землю. Поскольку ее передача по проводам в данном случае исключается полностью, то единственным средством передачи энергии является ее *излучение* в виде радиоволн по возможности более узким пучком. Здесь возникает множество радиотехнических (научных и инженерных) и экономических проблем. Однако ограничений принципиального харак-

тера как будто не возникает, т. е. эта задача в принципе решается. При этом необходимо проведение строгого технико-экономического анализа таких задач.

В этой области применения радиотехника, пожалуй, впервые в истории ее развития будет выполнять *энергетическую функцию*, аналогичную функции обычной ЛЭП.

Другие многочисленные пути применения радиоэлектроники будут также модифицироваться и расширяться в соответствии с прогрессом различных областей народного хозяйства.

Возрастающие требования к радиоэлектронным устройствам вынуждают ученых и конструкторов изыскивать новые внутренние резервы в данной области техники. Поиск новых технических решений, практически всегда, опирается на достижения физики и технологии первичных материалов и приборов. Вот почему радиоинженеру так важно теперь и особенно в будущем быть хорошо осведомленным в области фундаментальной и прикладной физики. Каковы же те точки роста радиоэлектроники, которые обеспечивают ее прогресс и прогресс связанных с ней сфер применения? Остановимся на некоторых из них.

Выше говорилось об интенсивном освоении микроволнового диапазона. Эта тенденция в принципе является «внутренним делом» радиоэлектроники, ибо потребителю чаще всего безразлично, какими средствами достигается поставленная цель. Важно, чтобы радиоэлектронная система отвечала предъявляемым требованиям, включая ограничения на массу, габариты, стоимость устройства и т. д. Поэтому *освоение микроволнового и оптического диапазонов* — это одна из примечательных и многообещающих черт внутреннего развития радиоэлектроники. Решение данной важнейшей задачи происходит комплексно. Идет параллельный процесс освоения техники генераторов новых типов, в первую очередь на полупроводниковых приборах, а также оптических квантовых генераторов.

Одновременно идет поиск эффективных технических средств модуляции колебаний, их детектирования и обработки. Физики и технологи ведут поиск материалов и способов изготовления из них канализирующих устройств с малыми потерями. Эти задачи весьма сложны. Но их преодоление обеспечивается коллективным трудом ученых и конструкторов, специалистов различных отраслей науки и техники. В этом видится залог успеха.

Другой важной тенденцией современной радиотехники является *поиск и использование сигналов со специальными законами дискретной пространственно-временной модуляции и адекватных способов их пространственно-временной обработки с применением ЭВМ.*

Информация об объектах окружающего пространства заключена в электромагнитном поле. Поле описывается пространственно-временным распределением. Поэтому традиционные способы обработки радиосигналов с ее разделением на пространственную (определение направления) и временную (раскрытие закона модуляции, определение задержки сигнала и доплеровского сдвига частоты) не являются полностью адекватными природе и описанию поля. Они использовались и могут использоваться и далее, как наиболее простые, но, в принципе, они проигрывают по информативности пространственно-временным способам обработки.

В качестве одного из интересных применений пространственно-временная обработка нашла в самолетном радиолокаторе *бокового обзора*. В этой системе чрезвычайно высокая разрешающая способность по углу достигается не за счет узкой диаграммы направленности антенны, а за счет движения самолета. Наблюдение цели при движении происходит под разными углами. Это и дает возможность как бы сжать «угол зрения» устройства. В этом случае говорят, что возникает как бы *искусственный раскрыв, синтезированная апертура* антенны. Примечательно, что при прочих равных условиях сжатие диаграммы направленности тем более эффективно, чем на большем интервале пути ведется наблюдение (увеличивается как бы эквивалентная база точек наблюдения), т. е. чем шире диаграмма направленности используемой антенны.

Пространственно-временные принципы обработки в различных приложениях уже широко используют и в настоящее время, однако их роль в будущем, по-видимому, будет возрастать. Ранее отмечалось, что для этого выгодно применять сигналы с дискретными законами модуляции и антенные системы с дискретным раскрытием. И то и другое необходимо, поскольку при этом система органически может быть сопряжена с ЭВМ, управляющей распределением поля в раскрытии, законом модуляции и реализующей требуемые алгоритмы обработки. Наряду с этим дискретное представление позволяет с высокой точностью обеспечить заданные функции модуляции раскрытия.

При аналоговом (непрерывном) формировании выдержать требуемые законы значительно сложнее, труднее осуществлять управление прецизионными законами. А управление ими в принципе необходимо, так как выбор законов должен делаться с учетом текущей обстановки (наличия естественных и организованных помех, требований электромагнитной совместимости и т. д.). В первую же очередь, конечно, на выбор закона модуляции влияет назначение системы (наблюдение воздушной обстановки,

траекторные измерения, распознавание объектов, связь, управление и т. д.).

В последние годы стали находить широкое применение антенны с дискретным формированием поля типа фазированных антенных решеток. Их развитие вылилось в очень перспективное научное и инженерное направление. Здесь открываются огромные возможности управления диаграммой направленности излучения (приема) антенны, т. е. формирования направлений главного излучения, уменьшения излучения (приема) в нежелательных направлениях, осуществления автоматического, практически безынерционного обзора пространства методом электронного сканирования, а также адаптации системы к конкретным условиям работы. Антенные решетки пока сравнительно дороги. Однако усилиями ученых и инженеров их конструкции непрерывно совершенствуются.

Примечательно то, что элементы таких антенн могут располагаться не обязательно в регулярном порядке. Их расположение может быть определено рельефом местности, профилем сооружения, на котором они установлены (например, фюзеляжем и крыльями самолета, палубными сооружениями корабля и т. д.). ЭВМ, сопряженная с такой решеткой, «учтет» все реальные фазовые соотношения, которые возникают, и сформирует диаграмму направленности, близкую к требуемой.

Количество элементов антенной решетки определяется ее габаритами, быстродействием ЭВМ и их стоимостью. Их число может быть весьма значительным (тысячи, десятки тысяч).

По-видимому, по мере совершенствования технологии и возрастания быстродействия и объема памяти цифровых ЭВМ такие системы будут решать все более сложные задачи и постепенно становиться основным типом радиотехнических систем пространственно-временной обработки сигналов.

В ходе рассмотрения перспектив развития радиоэлектроники неоднократно подчеркивалась важность применения ЭВМ, как составной части радиотехнической системы. Глубокое проникновение ЭВМ в радиотехнические системы является существенной особенностью их развития. В перспективе использование ЭВМ в составе радиотехнических систем и комплексов будет все более полным и органическим.

Основное назначение ЭВМ состоит в управлении режимом работы радиосистемы и в обработке информации. В наиболее совершенных системах используют ЭВМ для адаптации, т. е. для автоматического приспособления алгоритма работы системы с целью обеспечения наилучших показателей в изменяющихся условиях.

Что же сдерживает более полное внедрение цифровых ЭВМ в радиотехнические системы? В первую очередь, ограниченность их быстродействия. Весьма часто обработка информации и управление должны осуществляться, как говорят, в реальном масштабе времени. Цифровая ЭВМ в отличие от аналоговой требует, как правило, значительно большего времени для обработки информации и, следовательно, принятия решения при управлении. Требуемое время возрастает с увеличением объема данных, т. е. по мере повышения точности, гибкости алгоритмов и т. д. По мере совершенствования цифровых ЭВМ в направлении быстродействия, увеличения объема памяти, а также создания более эффективного математического обеспечения указанные сдерживающие факторы будут постепенно утрачивать свое значение. Таким образом, перспективные радиотехнические системы будут отличаться высоким уровнем автоматизации, насыщенностью цифровыми устройствами обработки информации и управления, а также способностью адаптации к складывающейся рабочей ситуации.

За цифровыми информационными радиосистемами большое будущее. Однако из этого не должен следовать вывод о том, что аналоговым системам не остается места. Это не так, хотя бы потому, что главный потребитель информации — человек — воспринимает ее как в цифровом, так и в аналоговом виде. Поэтому, скорее всего, и в дальнейшем информационные системы будут комбинированными, основанными как на аналоговых принципах действия, так и на цифровых.

Как уже отмечалось, аналоговые системы обработки информации имеют достоинство, состоящее в выдаче результатов в масштабе текущего времени, т. е. без задержки, принципиально необходимой при использовании цифровых алгоритмов. Однако они проигрывают по точности. В этой связи ученые и радиоинженеры, опираясь на новые физические явления и более совершенные технологические приемы изготовления аналоговых систем, ведут интенсивный поиск эффективных алгоритмов и технических средств аналогового управления электрическими колебаниями, участвующими в информационном процессе, т. е. устройств для формирования прецизионных законов модуляции, выделения сигналов на фоне помех и для других задач. Важно отметить, что их усилия приводят к интересным и обнадеживающим результатам. Создаются функциональные устройства (называемые иначе *процессорами*) принципиально нового типа, основанные на использовании акустических поверхностных волн в ультразвуковых линиях задержки, на принципах взаимодействия возбужденной механическими колебаниями оптической среды со

световым потоком, а также устройства, в основе действия которых находятся явления резонанса в магнитных и других средах. Использование таких устройств в ряде практически важных случаев может оказаться единственно возможным. Радиоинженеры здесь еще не сказали последнего слова. Их задача в будущем состоит в нахождении путей практической реализации в радиотехнических устройствах и системах этих и других прогрессивных принципов формирования сигналов и обработки информации.

Еще одной весьма заметной тенденцией развития радиосистем и устройств является *постоянное повышение их потенциала*. Под потенциалом понимают произведение трех показателей: мощности передатчика, чувствительности приемника и коэффициента усиления антенн. Именно эти факторы при определенных условиях определяют дальность действия радиосистем. За дальность действия, как и за снижение потребляемой мощности, уменьшение массы, габаритов, стоимости, повышение надежности, разработчики радиоаппаратуры и систем ведут непрерывную борьбу. Как решать эти задачи? Единого рецепта здесь не существует.

В зависимости от конкретного назначения системы повышение ее потенциала может происходить за счет улучшения каждого из трех его составляющих, но в различной степени. В этом и проявляется искусство радиоинженера. Можно, например, увеличивать мощность передатчика. Однако если передатчик должен находиться на борту самолета и тем более внутри спускаемого инопланетного аппарата, то при этом начнут действовать жесткие ограничения на массу, габариты, первичную потребляемую энергию. Следовательно, в таком случае должны быть испытаны другие возможности, снижение уровня внутреннего шума и, если позволяют условия размещения, увеличения площади антенн.

Научно-техническая мысль ведет поиск *эффективных способов усиления слабых сигналов и выделения их из помех*. Здесь для радиоинженера необозримое поле деятельности, в которой он использует новейшие достижения физики (например, полупроводниковые и квантовые приборы для генерации и усиления колебаний), криогенной техники (глубокое охлаждение элементов усилителей, ответственных за уровень внутреннего шума), точной механики (надежные конструкции антенных устройств), технологии (масса, габариты, надежность) и т. д.

Радиоэлектронная аппаратура *уплотняется*. Пустотелые вакуумные приборы еще используют и будут использовать в будущем. Но эпоха их господства как основных активных элементов радиоэлектронных аппаратов осталась позади. Позади и эпоха

господства пришедших им на смену отдельных полупроводниковых приборов. При современных требованиях к габаритам, массе и информационным показателям радиоаппаратуры отдельно взятые полупроводниковые диоды и транзисторы часто становятся недопустимой «роскошью».

В настоящее время технология первичных изделий стала настолько совершенной, что позволяет объединять полупроводниковые приборы микроскопической величины в отдельные законченные функциональные устройства в *микросхемотехническом исполнении* (усилители, генераторы, преобразователи различного назначения, устройства обработки информации, сложные логические устройства). В сочетании с миниатюрными устройствами СВЧ на базе пленочной технологии современные аппараты, содержащие тысячи и десятки тысяч активных элементов, позволяют реализовать очень компактные и надежные системы. Дальнейший прогресс в этой области связан с совершенствованием технологии.

Однако наряду с технологическими первостепенное значение имеет решение схемотехнических задач, приводящее в конечном счете к оптимальным построениям. Опираясь на достижения физиков и технологов, радиоинженеры будут создавать системы и устройства с высокой степенью интеграции, функциональной законченностью и надежностью.

Перед радиоэлектроникой и ее творцами — учеными и инженерами — встают все более сложные и ответственные задачи. Как же на эту общую тенденцию будет отзываться высшее радиотехническое образование, какие изменения в его методике и содержании можно предвидеть?

Высшее образование в нашей стране очень чувствительно к запросам практики. В связи с этим ожидаемые задачи и перспективы развития радиоэлектроники внесут как новое содержание, так и новые формы в подготовку радиоинженеров. В первую очередь следует предполагать еще более глубокую фундаментализацию подготовки. На это нас уже нацеливают документы XXVI съезда КПСС, а также недавнее постановление «О дальнейшем развитии высшей школы и повышении качества подготовки специалистов».

В настоящее время наша специальность характеризуется хорошей научной базой. Однако новые задачи потребуют скорректировать объем и содержание базовых дисциплин. Понадобится углубить и расширить подготовку радиоинженеров по физике. Необходимо будет сделать так, чтобы методы физико-математической подготовки надежно вооружали будущих специалистов при решении нестандартных научно-технических задач.

Сила науки в ее массовости, в ее лидерах, в ее связи с практикой. Это означает, что необходимо постоянно заботиться о пополнении рядов ученых в области радиоэлектроники. Фундаментализация высшего радиотехнического образования — это одна из важнейших предпосылок к тому, что в сфере инженерной деятельности будут появляться ростки новых научных решений, методов и направлений, в результате чего будет происходить процесс пополнения коллективов промышленных предприятий и научных учреждений новыми кадрами ученых. Высшая радиотехническая школа должна быть надежной базой развития науки.

Инженерные дисциплины радиоэлектронной специальности поведут студентов к постановке новейших технических задач и методам их решения. По-видимому, возрастет удельный вес вычислительной техники как средства расчета, моделирования, оптимизации инженерных решений, а также как неотъемлемой части радиотехнической системы. Инженерные дисциплины в гораздо большей степени приобретут системный характер, будут вооружать студентов методами системного проектирования, основанного на комплексном подходе к поиску наилучшего инженерного решения и на учете взаимосвязи показателей качества системы, взаимодействия входящих в нее подсистем и устройств. В ходе учебы студент познакомится с принципами, методами и примерами практических реализаций систем автоматизированного проектирования (САПР) радиоаппаратуры и ее компонентами. Роль САПР будет увеличиваться вместе с ростом вооруженности вычислительной техникой, совершенствованием терминальных устройств и развитием технологии.

Возрастет удельный вес самостоятельной работы студентов как главного средства развития творческого подхода при решении инженерных задач и при получении новых научных результатов. С этой целью будут и далее совершенствоваться такие виды учебного процесса, как лабораторный практикум, учебные научные исследования, проектирование. Совершенствование будет идти в направлении интеграции этих и других видов работ с целью повышения их эффективности и экономии бюджета времени студентов, а также в направлении максимального приближения содержания и методики работы к условиям, соответствующим реальной деятельности в сфере производства и науки. Крупные задания, рассчитанные на углубление теоретических познаний и проведение самостоятельных исследований, на построение лабораторного образца прибора и его экспериментальную проверку, наконец, проектирование и разработку элементов конструкций, — это, по-видимому, тот идеал, к которому должна

стремиться организация самостоятельной работы студентов на радиотехнических факультетах.

Такая работа будет подчинена единому плану и рассчитана на несколько семестров. Подобные комплексные задания целесообразны прежде всего на старших курсах (четвертый, пятый, отчасти третий), когда студентами уже накоплен значительный объем специальных знаний, которые целесообразно направить в русло активной регенерации. Такому развитию учебного процесса должны способствовать постоянно углубляющиеся прямые связи вузов с промышленными и научно-исследовательскими организациями. На дальнейшее укрепление таких связей ориентируют партийные решения последних лет по высшей школе.

В учебном процессе будущего возрастет значение лекций, которые, как и ранее, будут продолжать оставаться главным видом учебного процесса, определяющим его содержание и уровень. Лекции во все большей степени будут являться средством раскрытия фундаментальных положений теории, общих методов решения теоретических и инженерных задач, а также демонстрации примеров их применения. Лекции помогут студентам обозреть под различными углами зрения состояние и перспективы развития науки и техники по избранной специальности, поставят перед ними актуальные нерешенные задачи.

Возрастет вооруженность учебного процесса техническими средствами обучения и контроля, начиная от лабораторного практикума, основанного на новейшей аппаратной базе, высоком методическом уровне его организации и различных демонстрационных средствах и кончая реальными возможностями прямого диалога студентов с электронной вычислительной машиной. Роль ЭВМ будет многогранной: автоматизированное программирование задач, моделирование устройств, систем и явлений, обучение и контроль знаний. Это должно привести к качественным изменениям в учебном процессе, поднять его на новый уровень. Качественное совершенствование подготовки специалистов будет происходить в результате поиска новых форм обучения, улучшения содержания и методов высшего образования.

На многих примерах ученых и исследователей прошлого можно установить, что кроме выдающихся результатов в своей основной деятельности эти люди, как правило, достигали в жизни большой широты кругозора, являлись ценителями искусства, знатоками истории, литературы, владели иностранными языками. Это и понятно, ибо лишь гармонически развитая личность способна на большие дела, ее творческий порыв в немалой сте-

пени побуждается глубинными процессами познания прекрасного, уровнем общей культуры.

Не исключено, что, в частности, именно по этой причине в мире в настоящее время наблюдается гуманитаризация образования в области естественных и прикладных наук. Это отмечалось на VI Конгрессе Международной ассоциации университетов (МАУ), проходившем в Москве в 1975 г. В условиях нашего общества гармоничное развитие личности является одной из краеугольных проблем, вытекающей из сущности общества и его целей. Поэтому получение высшего образования в вузе должно рассматриваться не только как способ приобретения профессиональной подготовки, но и как могучее средство воспитания личности.

Следует надеяться, что режимом учебы на радиотехнических специальностях в будущем будет предусмотрено более полное развитие общей культуры инженеров, поощряемое системой целенаправленных мер. Звание радиоинженера, как и инженера в других областях техники, должно означать широту интересов и общего кругозора личности. В процессе формирования личности наряду с рядом других важных факторов, таких, как коллектив, семья, участие в выполнении общественно-полезных дел и т. д., важную роль играет фактор общения с учителем.

Пример учителя всегда был и останется важным фактором развития личности. Непосредственное общение с учителем позволяет ученику в лучшей степени раскрыть индивидуальные возможности. Выступая с докладом на VI Конгрессе МАУ, академик Р. В. Хохлов аргументированно развивал тезис об индивидуализации обучения как существенной черте высшего образования на рубеже XXI в. С его мнением нельзя не согласиться. Совершенствование методов обучения позволит в конечном счете высвободить большее время, чем сейчас на такие виды занятий, при которых происходит непосредственное общение студента и преподавателя, — семинары, совместное выполнение научных исследований, работа над проектами образцов новой техники и т. д.

Высшее техническое образование и в будущем останется массовым. Но при этом будет развиваться и индивидуализация учебно-воспитательного процесса, в основе которой будет находиться творческий союз высококвалифицированного преподавателя и студента. В результате звание радиоинженера сделается еще более авторитетным.

Избравшего радиотехническую специальность ожидает увлекательная перспектива учебы и работы в одной из передовых областей науки и техники.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

К главе 1

1. 80 лет радио/Под ред. А. Д. Фортушенко.— М.: Связь, 1975.
2. Айсберг Е. Радио и телевидение? Это очень просто.— М.: Энергия, 1979.

К главе 2

1. 50 лет радио./Под ред. А. Д. Фортушенко.— М.: Госиздат по вопросам связи и радио, 1945.
2. Лонгинов А. С., Стариков В. И. Нижегородская радиолaborатория.— М.: Знание, 1969.
3. Карцев В. П. Приключения великих уравнений: — М.: Знание, 1978.
4. Румпф К. Г. Барабаны, телефоны, транзисторы.— М.: Мир, 1974.

К главе 3

1. Крик Э. Введение в инженерное дело: Пер. с англ.— М.: Энергия, 1970.
2. Петрович Н. Т. Беседы об изобретательстве.— М.: Молодая гвардия, 1978.
3. Сухотин А. К. Парадоксы науки.— М.: Молодая гвардия, 1978.
4. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений: Пер. с англ.— М.: Мир, 1969.

К главе 4

1. Таксир К. И. Научно-производственные объединения.— М.: Наука, 1977.
2. Организация, планирование и управление производством радиоэлектронной аппаратуры/Под ред. И. Б. Куксина и С. В. Моисеева.— М.: Машиностроение, 1979.
3. А. Матейко. Условия творческого труда: Пер. с польск./Под ред. Я. А. Пономарева.— М.: Мир, 1970.
4. Мясников В. А., Майоров С. А., Новиков Г. И. ЭВМ для всех.— М.: Знание, 1980.

К главе 5

1. О дальнейшем развитии высшей школы и повышении качества подготовки специалистов: Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР.— Коммунист, 1979, № 11.
2. Приходько П. Т. Путь в науку.— М.: Знание, 1977.
3. Высшая школа: Сб. осн. постановлений, приказов и инструкций/Под ред. Е. И. Войленко.— М.: Высшая школа, 1978, ч. 1.
4. Справочник для поступающих в высшие учебные заведения СССР в 1983 году.— М.: Высшая школа, 1983.

К главе 6

1. Гуткин Л. С. Современная радиоэлектроника и ее проблемы.— М.: Сов. радио, 1980, изд. 2-е.
2. Калмыков В. Д. Современная радиоэлектроника.— Известия, 1966, 6 мая.
3. Сифоров В. И., Чистяков Н. И., Плонский А. Ф. Твоя наука радиоэлектроника.— М.: Знание, 1974.
4. Велихов Е. П. Наука: настоящее и будущее.— Комсомольская правда, 1979, 24 ноября.
5. Хохлов Р. В. Высшее образование в СССР на рубеже XXI века: Докл. на Генеральной Ассамблее Международной Ассоциации университетов.— М.: Изд-во МГУ, 1975.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Радиотехника сегодня	7
§ 1.1. С чего начинается и что такое радиотехника	7
§ 1.2. Как возникает поле излучения	8
§ 1.3. Простые антенны	13
§ 1.4. Как антенна взаимодействует с окружением	16
§ 1.5. Особенности образования радиолиний на различных частотах	20
§ 1.6. Сообщения и их отправление радиопередатчиком	29
§ 1.7. Что происходит в радиоприемнике. Радиотехническая система связи	36
§ 1.8. Как осуществляют основные радиотехнические процессы	39
§ 1.9. Радиотехнические системы различного назначения	46
§ 1.10. Пример устройства радиотехнической системы: система телевидения	55
§ 1.11. Радиотехника сегодня	61
Глава 2. Немного истории	70
§ 2.1. Зачем инженеру знать историю	70
§ 2.2. Возникновение науки об электросвязи	71
§ 2.3. От зари радиотехники до великих уравнений	73
§ 2.4. Эксперимент — критерий истины	76
§ 2.5. А. С. Попов — изобретатель радио	78
§ 2.6. Радиотехника после Великой Октябрьской социалистической революции	80
§ 2.7. Пионеры отечественной радиотехники	84
Глава 3. Производство радиоаппаратуры как процесс	90
§ 3.1. Инженер в научно-производственном цикле	90
§ 3.2. Основные этапы производственного процесса	92
§ 3.3. Замысел — представление	93
§ 3.4. Проектирование — оптимизация	98
§ 3.5. Изготовление (производство) изделий	104
Глава 4. Радиотехническая отрасль народного хозяйства	107
§ 4.1. Что такое отрасль	107
§ 4.2. Организация и взаимодействие промышленных предприятий	109
§ 4.3. Научно-производственные объединения	114
§ 4.4. Автоматизированные системы	116
§ 4.5. Ответственность за качество	119
Глава 5. На пути к инженерному званию	121
§ 5.1. Почему выбирают специальность радиоинженера	121
§ 5.2. Высшая школа в системе народного хозяйства	131
§ 5.3. Учебно-научный комплекс института	135
§ 5.4. Основные принципы организации учебного процесса	137
§ 5.5. Спорт в жизни студента	153
§ 5.6. Государственный экзамен на зрелость и ближайшие перспективы	154
Глава 6. Наша специальность и техника завтра	160
Рекомендуемая литература	175